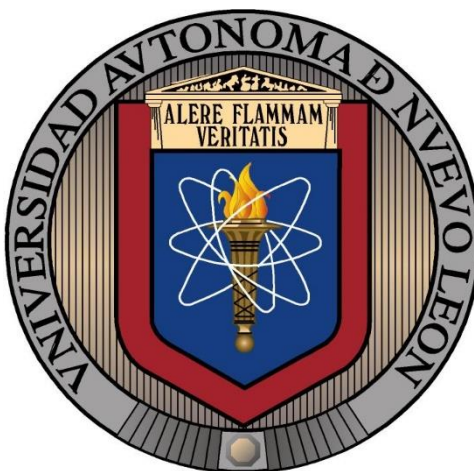


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



**ÍNDICE DE DEGRADACIÓN DE LA VEGETACIÓN  
SOMETIDA A MANEJO FORESTAL EN EL SUR DE  
NUEVO LEÓN, MÉXICO**

**TESIS DE MAESTRÍA**

**Presentada como requisito parcial  
Para obtener el grado de  
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**Por:**

**Ing. Jesús Asunción Pérez Morales**

**Linares, Nuevo León, México.**

**Diciembre del 2014**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**

**ÍNDICE DE DEGRADACIÓN DE LA VEGETACIÓN  
SOMETIDA A MANEJO FORESTAL EN EL SUR DE NUEVO  
LEÓN, MÉXICO**

**TESIS DE MAESTRÍA**


**Presentada como requisito parcial  
Para obtener el Grado de  
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**Por:  
Ing. Jesús Asunción Pérez Morales**

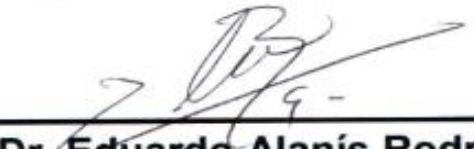
**COMITÉ DE TESIS:**



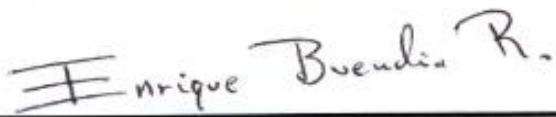
**Dr. Eduardo J. Treviño Garza**  
Director de tesis



**Dr. Javier Jiménez Pérez**  
Asesor



**Dr. Eduardo Alanís Rodríguez**  
Asesor



**M.C. Enrique Buendía Rodríguez**  
Codirector externo

**Linares, Nuevo León, México.**

**Diciembre del 2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad Autónoma de Nuevo León y en especial al cuerpo académico de profesores-investigadores de la Facultad de Ciencias Forestales, por haberme otorgado la oportunidad de realizar mis estudios, por compartir sus conocimientos y experiencias durante mi estancia en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Forestales y por ayudarme a concluir esta etapa tan importante de mi vida profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico, el cual fue de mucha utilidad para solventar gastos de mis estudios.

Al Proyecto PAICYT CA 924-11 “Aplicación de imágenes de satélite para la clasificación detallada de la Vegetación en Ecosistemas Templados y Subtropicales.

A mi comité de tesis, conformado por el Dr. Eduardo J. Treviño Garza, el Dr. Javier Jiménez Pérez y el Dr. Eduardo Alanís Rodríguez, muchas gracias por haberme brindado sus enseñanzas, su tiempo, confianza, amistad, y apoyo durante la elaboración del trabajo de investigación. Gracias también por todas sus observaciones, correcciones y sugerencias, que fueron de gran utilidad para concluir con éxito el escrito de la tesis.

A mi novia y familia Nuncio Orta, por su cariño, respeto y confianza.

A todas las buenas personas que conozco, amigos, compañeros, conocidos y trabajadores, por su apoyo, consejos, comprensión, amistad, respeto y confianza.

A todos los integrantes del laboratorio de Geomática, por su amistad, confianza, y ayuda para tomar los datos de campo, a Humberto A. López, Vicente A. Muñoz, Alejandro Luna, Adrián Rodríguez, Jorge R. Elizondo, Moisés Cortez, Gema Hernández, Eva Sepúlveda, Alejandro Ochoa, Enrique Buendía, Paulette Loya, Israel López y Carlos Ramos.

## DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y la oportunidad de conocer este mundo tan maravilloso lleno de tantas personas importantes en mi vida, por darme fuerza, salud, y fortaleza para terminar satisfactoriamente una etapa más de mi vida profesional.

Principalmente dedico esta tesis a mi familia y en especial a mis padres Jesus Alejandro Pérez Hernández y Candelaria Morales Solano, quienes son lo más valioso que tengo en esta vida. Ellos me han inspirado y enseñado a salir adelante sobre cualquier circunstancia, me han enseñado los principales valores de la familia, gracias a ellos cada día me pongo la meta de superarme.

A mis hermanos, el Ing. Adrián Alejandro Pérez Morales, Faviat Sabaleta Morales, Adriana Sabaleta Morales y Nubia Astrid Pérez Morales, con los que he pasado los mejores momentos de la vida, he recibido su gran apoyo incondicional y sus buenos deseos, los quiero muchísimo.

A mis cuñados, Roldan Rodas, Isabel Gordillo, Roger Ramos y Willy Borraz por haberse integrado a la familia, brindarme su amistad, confianza y respeto.

A mis sobrinos Huberto U. Rodas Z., Marena G. Ramos Z., Fabián Rodas Z., Luis A. Perez G., Emiliano A. Borraz P., Camila N. Borraz P. y Cristopher G. Perez G., con quienes he pasado excelentes momentos a su lado, los quiero muchísimo, son el motivo de inspiración y el futuro de la familia.

A mis abuelos Juan Ramírez, María Solano, Ernestina Hernández, (+) Miguel Perez y tíos quienes me compartieron sus experiencias, me motivan y orientan con sus consejos.

A mi novia la MC. Gloria Laura Nuncio Orta, por haberme apoyado y motivado a salir adelante, gracias por tu cariño amor y confianza.

## INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.1.1 Objetivo general .....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
2. ANTECEDENTES.....	5
2.1 Historia de la deforestación en México. ....	5
2.2 La degradación en México.....	6
2.3 Evaluación de estructura, composición y diversidad del bosque.....	6
2.4 Herramientas para evaluar los cambios de cubierta terrestre. ....	8
2.5 El uso de imágenes de satelitales para monitorear el bosque. ....	10
2.6 Resolución de imágenes Landsat y RapidEye. ....	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
3.1 Ubicación del área de estudio.....	12
3.2 Descripción del área de estudio.....	12
3.3 Métodos.....	14
3.4 Métodos directos. ....	14
3.4.1 Toma de datos de campo. ....	17
3.4.2 Evaluación de los parámetros dasométricos.....	17
3.4.3 Indicadores ecológicos. ....	19
3.4.4 Diversidad .....	22
3.5 Métodos indirectos. ....	23
3.5.1 Métodos para analizar imágenes satelitales. ....	24
3.5.2 Clasificación digital de imágenes. ....	25
3.5.3 Procedimiento de clasificación de imagen. ....	26
3.5.4 Cálculo de la superficie deforestada utilizando imágenes satelitales. ....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
4.1 Método directo.....	29
4.1.1 Estructura florística del estrato arbóreo. ....	29
4.1.2 Distribución horizontal y vertical de las especies forestales.....	41

4.1.3	Características dasométricas por comunidad forestal.....	46
4.1.4	Características dasométricas por especie forestal.....	47
4.1.5	Diversidad .....	48
4.2	Método indirecto.....	51
4.2.1	Composición en falso color.....	51
4.2.2	Análisis del NDVI.....	52
4.2.3	Clasificación no supervisada. ....	53
4.2.4	Clasificación supervisada. ....	54
4.2.5	La clasificación supervisada multitemporal. ....	55
4.2.6	Existencias dasométrica en ejido Pablillo para cada año.....	60
5.	CONCLUSIONES.....	62
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Localización del área de estudio.....	12
<b>Figura 2.</b> Parajes forestales del estrato arbóreo en el Ejido Pablillo.....	15
<b>Figura 3.</b> Esquema de conglomerados de muestreo del Inventario Nacional Forestal (CONAFOR, 2012). ....	16
<b>Figura 4.</b> Esquema de sitios permanentes de muestreo del Inventario Nacional Forestal (CONAFOR, 2012).....	16
<b>Figura 5.</b> Índice de Valor de Importancia por Paraje. ....	41
<b>Figura 6.</b> Categoría diamétrica por especie.....	43
<b>Figura 7.</b> Relación diámetro normal y altura total de <i>Quercus mexicana</i> . ....	43
<b>Figura 8.</b> Relación diámetro normal y altura par <i>Pinus pseudostrobus</i> . ....	44
<b>Figura 9.</b> Relación diámetro normal y altura total <i>Quercus polymorpha</i> . ....	45
<b>Figura 10.</b> Categorías diamétricas y altura para <i>Pinus teocote</i> . ....	45
<b>Figura 11.</b> Dendrograma de similitud entre parajes.....	50
<b>Figura 12.</b> Falso color infrarrojo. ....	51
<b>Figura 13.</b> Análisis visual del NDVI. ....	52
<b>Figura 14.</b> Clasificación no supervisada usando la imagen, RapidEye 2012. ....	54
<b>Figura 15.</b> Clasificación supervisada usando la imagen, RapidEye 2012. ....	55
<b>Figura 17.</b> Análisis de deforestación total por año.....	60

## ÍNDICE DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Historia de los aprovechamientos en el ejido Pablillo. ....	7
<b>Cuadro 2.</b> Descripción de los sensores satelitales. ....	24
<b>Cuadro 3.</b> Tabla de las bandas que se unieron en las imágenes Landsat.....	27
<b>Cuadro 4.</b> Lista de especies encontradas en las comunidades forestales.....	29
<b>Cuadro 5.</b> Análisis de IVI en el paraje “Cañada Castillo”.....	30
<b>Cuadro 6.</b> Análisis de IVI en el paraje “Cañada Villa seca”. ....	31
<b>Cuadro 7.</b> Análisis de IVI en el paraje “San Felipe”.....	32
<b>Cuadro 8.</b> Análisis de IVI en el paraje “Los Terreros”. ....	33
<b>Cuadro 9.</b> Análisis de IVI en el paraje “Cerro las Mesas”. ....	33
<b>Cuadro 10.</b> Análisis de IVI en el paraje “Cerro el Minuto”. ....	34
<b>Cuadro 11.</b> Análisis de IVI en el paraje “Hoya el Gato”. ....	35
<b>Cuadro 12.</b> Análisis de IVI en el paraje “Morritos la Lagunita”. ....	36
<b>Cuadro 13.</b> Análisis de IVI en el paraje “Cañada del Salto”. ....	37
<b>Cuadro 14.</b> Análisis de IVI en el paraje “Cañada el Llorón”. ....	39
<b>Cuadro 15.</b> Análisis de IVI en el paraje “Cañada Ojo de agua”. ....	40
<b>Cuadro 16.</b> Análisis de Varianza del IVI.....	41
<b>Cuadro 17.</b> Número de individuos encontrados por especie forestal.....	42
<b>Cuadro 18.</b> Categorías diametricas.....	42
<b>Cuadro 19.</b> Relación de las características dasométricas por sitio.....	46
<b>Cuadro 20.</b> Análisis dasométricas por especie.....	47
<b>Cuadro 21.</b> Índice de Shannon y prueba de Tukey por comunidad forestal.....	48
<b>Cuadro 22.</b> Análisis de varianza utilizando los valores de Shannon por paraje. ....	49
<b>Cuadro 23.</b> Número de especies encontradas por comunidades forestales. ....	49
<b>Cuadro 24.</b> Análisis de varianza utilizando los valores de NDVI.....	53
<b>Cuadro 25.</b> Cobertura forestal para los años de 1993, 2001, 2005, y 2013.....	58
<b>Cuadro 26.</b> Análisis de Varianza en deforestacion por comunidad forestal. ....	59
<b>Cuadro 27.</b> Caracterización dasométrica para el año de 1993.....	60
<b>Cuadro 28.</b> Caracterización dasométrica para el año de 2001.....	60
<b>Cuadro 29.</b> Caracterización dasométrica para el año de 2005.....	61
<b>Cuadro 30.</b> Caracterización dasométrica para el año de 2013.....	61

## ÍNDICE DE IMÁGENES

	pág.
<b>Imagen 1.</b> Panorámica del Ejido Pablillo .....	13
<b>Imagen 2.</b> Comunidad forestal de encino-pino, paraje “Cañada Castillo” .....	30
<b>Imagen 3.</b> Comunidad forestal de encino-pino, paraje “Cañada Villa seca” .....	32
<b>Imagen 4.</b> Comunidad forestal de pino, paraje “San Felipe” .....	32
<b>Imagen 5.</b> Comunidad forestal de pino, paraje “Los Terreros” .....	33
<b>Imagen 6.</b> Comunidad forestal de pino, paraje “Cerro las Mesas” .....	33
<b>Imagen 7.</b> Comunidad forestal de pino, paraje “Cerro el Minuto” .....	34
<b>Imagen 8.</b> Comunidad forestal de encino-pino, paraje “Hoya el Gato” .....	35
<b>Imagen 9.</b> Comunidad forestal de encino-pino, paraje “Morritos la Lagunita” .....	36
<b>Imagen 10.</b> Comunidad forestal de pino-encino, paraje “Cañada del Salto” .....	38
<b>Imagen 11.</b> Comunidad forestal de encino-pino, paraje “Cañada el Llorón” .....	39
<b>Imagen 12.</b> Comunidad forestal de encino-pino, paraje “Cañada Ojo de agua” .....	40
<b>Imagen 13.</b> Causas de deforestacion y degradacion del bosque.....	57



## RESUMEN

En este trabajo de investigación se determinó el índice de degradación y deforestación de la cobertura vegetal, usando imágenes satelitales Landsat y RapidEye, en un área bajo manejo forestal en el Ejido Pablillo, ubicado en el Municipio de Galeana al Sureste del estado de Nuevo León, México. Para cuantificar la cobertura vegetal se realizó mediciones indirectas utilizando cinco imágenes satelitales multitemporales y mediciones directas donde se establecieron 11 sitios de muestreos para la toma de datos en campo conforme al Inventario Nacional Forestal. Los resultados obtenidos indican que el área de estudio está conformado por bosques irregulares y comunidades forestales de encino-pino, pino y pino-encino, las especies más importantes son *Quercus mexicana* (1841/ha), *Pinus cembroides* (756/ha) y *Pinus pseudostrobus* (361/ha), por presentar el mayor número de especie por hectáreas; en cuanto a la diversidad, el paraje más diverso fue “Cañada del Salto” ( $H=1.53$ ), seguida de “Cañada del Llorón” ( $H=1.04$ ) y “Cañada Villa seca” ( $H=1.03$ ) por presentar el máximo valor en índice de Shannon; los más similares fueron “Cerró las Mesas”, “Los Terreros” y “San Felipe” con un 100 % según el índice Sorensen y están conformadas por una sola especie. Con el análisis del NDVI se encontró que existe una degradación del 16% en el periodo de 1993 hasta el 2013; para el estudio multitemporal se observó que existe una deforestación a través del tiempo la cual presenta un máximo de 4.8 %; los principales factores que han generado la degradación y deforestación del bosque fueron los incendios, plagas y enfermedades, el incremento del cambio de uso de suelo (de forestal a áreas urbanas, agrícolas y ganaderas), la tala ilegal. El uso de imágenes satelitales en conjunto con la toma de datos en campo fue de gran utilidad para evaluar las existencias y monitorear los recursos naturales.

## ABSTRACT

In this research the rate of degradation and deforestation of the plant cover was determined, using Landsat satellite images and RapidEye, in an area under forest management in the Ejido Pablillo, located in the Galeana Municipality to the southeast of the state of Nuevo Leon, Mexico. To quantify vegetation cover indirect measurements were performed using five multitemporal satellite images and direct measurements where 11 sampling sites for field data collection in accordance with established National Forest Inventory. The results indicate that the study area is comprised of irregular forests and forest communities of oak-pine, pine and pine-oak, the most important *Quercus mexicana* (1841 / ha), *Pinus cembroides* (756 / ha) and *Pinus pseudostrobus* (361 / ha) presents the greatest number of species per hectare; in terms of diversity, the most diverse place was "Cañada del Salto" ( $H = 1.53$ ), followed by " Cañada del Llorón " ( $H = 1.04$ ) and "Canada Dry Villa" ( $H = 1.03$ ) to present the best value in Shannon index; the most similar were " Cerró las Mesas ", "Los Terreros" and "San Felipe" with 100% according to the Sorensen index and are comprised of a single species. With the analysis of NDVI was found that there is a degradation of 16% in the period 1993 to 2013; for multitemporal study found that there is deforestation over time which presents a maximum of 4.8%; the main factors that have generated forest degradation and deforestation were the fires, pests and diseases, increased land use change (forest to urban, agricultural and pastoral areas) illegal logging. The use of satellite imagery in conjunction with field data collection was very useful for evaluating stocks and monitor natural resources.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los bosques son el medio que proporciona la subsistencia a más de mil millones de personas que viven en condiciones de pobreza extrema en todo el mundo, aportando empleo directo a más de cien millones. Son el refugio de más del 80 % de la biodiversidad terrestre del planeta y ayudan a proteger cuencas hidrográficas, así como suministrar agua limpia a la humanidad (FAO, 2001), además son considerado como medios para almacenar carbono, ya que los árboles toman el CO<sub>2</sub> atmosférico durante la fotosíntesis y lo fijan en los tejidos (ramas, tallos, raíces y follaje) (Kyrby y Potvin, 2007). Estimar la biomasa nos permite conocer la cantidad de carbono absorbida del medio ambiente y la que liberara a la atmósfera como CO<sub>2</sub>, cuando el bosque sea aclarado o quemado (Segura y Kanninen, 2002; Hiratsuka *et al.*, 2005; Lufafa *et al.*, 2008).

Desde hace décadas se han realizado programas de manejo forestal que involucra el proceso de toma de decisiones en las fases de organización, planeación, administración y control de operaciones para alcanzar objetivos específicos en forma eficiente (Hann, 1982). En algunos casos el mal manejo ha generado deforestación y degradación de los bosques (Dixon *et al.*, 1994; FAO, 2001; Houghton, 2005; Reyes, 2010). La degradación es el principal factor que causa la pérdida de biodiversidad, provoca erosión de suelo y retarda la velocidad de regeneración de especies nativas, este proceso contribuye en cierta medida al aumento de la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), aunque los combustibles fósiles son los principales generadores de este contaminante (cuya quema significa cerca de un 70 % de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> a la atmósfera) (McKeown y Gardner, 2009).

Los distintos factores puntuales que generan la degradación en bosques y selvas son: **a)** en bosques prácticamente el 50 % de la superficie es afectada por incendios, el 28 % a ganadería y 17 % a la agricultura **b)** en selvas, la ganadería es responsable de casi el 60 % de la superficie desforestada, los incendios representan entre 7 y 22 % y la agricultura 10 al 14 % **c)** de manera agregada, la

ganadería es responsable en un 49 % del cambio de uso del suelo, los incendios afectan 24 % y agricultura 13 % (Masera *et al.*, 1992).

Para la evaluación de la degradación y la valoración de servicios ecosistémicos existen métodos directos como el levantamiento de datos en campo e indirectos con fotografías aéreas e imágenes satelitales (FAO, 2001). Las imágenes satelitales derivadas de sensores de mejor resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal (Landsat, RapidEye, Ikonos, QuickBird, SPOT), sirven para conocer el estado de desarrollo de la vegetación, la cobertura de copa y la dinámica de uso del suelo, siendo considerados como fuentes importantes de información a bajo costo (Antonio-Némiga *et al.*, 2008). En este sentido, la existencia de archivos históricos de imágenes satelitales han sido la base para contar con información que permita conocer cambios espaciotemporales de la cobertura vegetal y uso del suelo (Treitz y Rogan, 2004). Aclarando que la teledetección no sustituye la necesidad de obtener datos de campo, pero con la combinación de ambos métodos se consiguen mejores resultados que los que pueden obtener utilizando cada uno de los métodos por separado (FAO, 2001).

En la presente investigación se determinó el índice de degradación y deforestación, así como un análisis de estructura y diversidad de la cobertura vegetal en un área bajo manejo forestal, usando ambos métodos para conocer el estado de la vegetación. El método indirecto se realizó con imágenes satelitales multiespectrales a las que se les aplicó un análisis visual y se procesaron para obtener el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), asimismo se realizó una clasificación no supervisada y una clasificación supervisada. El método directo consistió en el levantamiento de información en campo, el cual se utilizó para calcular las variables dasométricas, realizar un análisis estructural y de diversidad del bosque en el ejido Pablillo.

Al combinar los métodos se evaluó las existencias de recursos forestales para cada año de 1993, 2001, 2005 y 2013 y el porcentaje total existente de degradación y deforestación dentro del área de estudio a través del tiempo.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo general**

Caracterizar el bosque, determinar el índice de degradación y deforestación, utilizando métodos directos e indirectos, en el área de estudio bajo manejo forestal.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Evaluar y analizar las variables dasométricas a partir de los datos obtenidos en campo.
- Determinar la composición florística dentro del área de estudio estimando los indicadores ecológicos de abundancia relativa (AR), dominancia relativa (DR), frecuencia relativa (FR), e índice de valor de importancia (IVI).
- Estimar la diversidad y similitud ecológica utilizando el Índice de Shannon y Sorensen.
- Procesar la imagen y aplicar un NDVI, para identificar las áreas de cobertura arbórea y las degradadas.
- Separar las coberturas arbóreas con una clasificación digital, para comparar los cambios de la vegetación a través del tiempo.

## 1.2 HIPOTESIS

- Existe diferencia en composición florística, y diversidad biológica en los ecosistemas forestales.
- Existe degradación del bosque a través del tiempo en el área bajo manejo forestal.
- Ha disminuido las superficies forestales a causa del cambio de uso de suelo.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Historia de la deforestación en México.**

La historia del proceso de deforestación en el país es larga y compleja. Probablemente la primera tala de bosques a gran escala ocurrió a principios del periodo colonial de los siglos XVI y XVII cuando los conquistadores españoles forzaron a los grupos indígenas a abandonar las tierras agrícolas y colonizar terrenos forestales. Las grandes cantidades de leña y madera utilizadas para la explotación minera durante todo el período colonial contribuyó a la eliminación de grandes superficies de bosques (González, 1992).

El proceso de desforestación tuvo otro hecho importante en el periodo comprendido entre el final del siglo XIX y principios del siglo XX. Durante este periodo el gobierno de México otorgó concesiones a compañías extranjeras para que explotaran superficies boscosas, estas compañías cortaban a mata rasa el recurso, moviéndose por las áreas concesionadas a medida que agotaban la madera de los bosques (González, 1992).

El impulso final y el más dramático al proceso de desforestación y degradación forestal se iniciaron en los años cuarenta y tuvo su apogeo en las décadas de 1960 y 1970. Afectando las selvas. Como medio para evitar la distribución de la tierra en las áreas agrícolas existentes (Paz, 1995).

La deforestación es una problemática que ha enfrentado de manera constante nuestro país. Tan sólo del 2005 al 2010 se perdieron 775 mil hectáreas de bosques y selvas a lo largo del territorio nacional, lo cual se ubica entre 155 mil hectáreas al año, de acuerdo a la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA 2010).

## **2.2 La degradación en México**

La degradación de bosques y selvas es la causa de pérdida de la mayor parte de la cobertura vegetal original en México, contando con aproximadamente 64 millones de hectáreas de bosques de clima templado y selvas que abarcan el 32% del territorio nacional (FAO, 2004).

En el siguiente patrón de cambio de uso del suelo, se muestran los distintos factores puntuales que generan la degradación en bosques y selvas: en los bosques prácticamente el 50 % de la superficie afectada se debe a incendios, 28 % a ganadería y 17 % a la agricultura, en las selvas la ganadería es responsable de casi el 60 % de la superficie desforestada, los incendios representan entre 7 y 22 % y la agricultura 10 al 14 %, en resumen la ganadería es responsable en un 49 % del cambio de uso del suelo, los incendios afectan 24 % y agricultura 13 % (Masera *et al.*, 1992).

Los bosques del estado de Nuevo León son los de mayor importancia ecológica y económica dentro de la Sierra Madre Oriental. Sin embargo, debido al manejo inadecuado de los recursos han presentado en los últimos años una degradación progresiva de los mismos. Los malos aprovechamientos forestales, el cambio de uso de suelos forestales a agrícolas y el sobre pastoreo han traído como consecuencia la disminución de la biodiversidad, una mayor vulnerabilidad a los incendios, la erosión y pérdida de suelo (Reyes, 2010).

## **2.3 Evaluación de estructura, composición y diversidad del bosque.**

Para elaboración de planes de manejo forestal, el inventario de los recursos forestales tiene un papel importante en la toma de decisiones. Los inventarios forestales tratan de describir el crecimiento, la producción, la calidad y la cantidad de los árboles de un bosque así como muchas características del terreno donde crecen (Carrillo 2008).

El Manejo forestal en el área de estudio, según archivo se ha autorizado una serie de aprovechamientos que a continuación se describen (Cuadro 1):



**Cuadro 1.** Historia de los aprovechamientos en el ejido Pablillo.

Oficio de Autorización	Fecha	Volumen	Genero	Observación
721.DR.04.02.0162	14/03/88	50	pino	Domestico
721.03.04.04-355	03/11/88	359	pino	Afec. M. Enano
721.03.03.02-0484	16/07/90	1705-105	pino-encino	Incendio y Desc.
719.5.1.0.3-1.209	21/08/93	305	pino	Afec. M. enano
SPN.-1.020	09/11/95	138	pino	Afec. por Inc.
510.04.2.-415	27/05/96	402	pino	M. Enano y Desc.
510.04.4.-700	16/18/96	183-196	pino	Afec. Desc.y M. Enano
510.04.1-198	03/04/97	17	pino	Afec. Desc.
139.04.4.420	22/04/13		encino-pino	Saneamiento

Fuente: Programa de manejo forestal ejido Pablillo (Ancira, 2005).

Algunos investigadores consideran que los objetivos centrales de la medición forestal es describir poblaciones (bosques) en términos del valor total de algún atributo de todos los arboles (área basal, volumen), pero por su extensión y difícil acceso, esta descripción debe basarse en una pequeña muestra, seleccionados de modo que representen a toda la población. Por razones prácticas los árboles se seleccionan en grupos llamados sitios de muestro (Prodan *et al.* 1997).

Para la estimación de la biomasa se han utilizado tanto muestreos destructivos como no destructivos, dependiendo de las posibilidades del estudio. Como dice su nombre el método destructivo consiste en la extracción física de los árboles o parte de ellos, proceso que consume gran cantidad de tiempo y recursos (Bown, 1992). En cambio, el método no destructivo, es rápido pues no implica el derribo del árbol, por lo que un mayor número de árboles puede ser muestreado, reduciendo así el error muestral en comparación al muestreo destructivo (Hairiah *et al.*, 2001).

Existe una gran cantidad de formas geométricas de los sitios de muestreo utilizados en diversos países para recabar información de las condiciones de zonas arboladas, siendo las más comunes: rectangulares, cuadradas y circulares. Las más utilizadas en inventarios forestales son las circulares, por la facilidad de delimitar las áreas con pendientes (Ríos *et al.*, 2000; Calderón *et al.*, 1997).

El Índice de Valor de Importancia, es un parámetro que revela la importancia ecológica relativa de cada especie, interpreta a las especies que están mejor adaptadas, ya sea porque son muy abundantes, dominantes y frecuentes. El máximo valor del IVI es de 300 y el índice de valor de importancia relativo (IVI) es de 100 % (Mostacedo & Fredericksen 2000; Alanís, 2010).

Para realizar la descripción y composición florística de la vegetación se han utilizado diversos métodos entre ellos calcular la abundancia ( $Ar$ ), dominancia ( $Dr$ ), frecuencia ( $Fr$ ), Índice de valor de importancia (IVI), índice de Sorensen ( $IS$ ) e índice de Shannon los cuales estiman la riqueza y diversidad ( $\alpha$ ) de las especies arbóreas y cuantifica la similitud/disimilitud en la diversidad ( $\beta$ ) de las áreas y especies (Alanís, 2010).

El índice de Shannon-Wiener (Shannon y Weaver, 1949) es uno de los Índices más utilizados para determinar la diversidad alfa ( $\alpha$ ) de las especies y de un determinado hábitat. El índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes o riqueza específica y su abundancia relativa entre las especies (Pla, 2006).

El Índice de Sorensen relaciona el número de especies compartidas con la media aritmética de las especies de ambos sitios dando como resultado la diversidad beta ( $\beta$ ) Similitud o disimilitud que expresa el grado de semejanza entre dos muestras o comunidades (Villarreal *et al.*, 2006).

## **2.4 Herramientas para evaluar los cambios de cubierta terrestre.**

La percepción remota se ha convertido en la fuente de obtención de datos más útiles para la medición cuantitativa de los cambios de la cubierta terrestre a escala de paisaje (Petit, 2008). Un sensor remoto se define como un instrumento especial cuya tecnología permite la obtención de información de objetos sin estar físicamente en contacto con él (Avery y Berlin, 1992). Los sensores remotos constan de tres elementos fundamentales; el sensor, el objeto observado y un flujo energético (Chuvienco, 1996).

La percepción remota satelital provee de datos e información para facilitar la planificación y manejo de recursos forestales (Makela y Pekkarinen, 2004; Jamalabad y Abkar, 2004).

El software ERDAS Imagine 2010 se ha utilizado para realizar procesos digital de imágenes satelitales Landsat y SPOT, las que sirvieron para detectar degradación de suelos y coberturas vegetales, apoyados con correcciones geométricas (UTM), espaciales con (filtros de convolución: depuración de datos, paso alto 3 x 3, reducción de ruido), radiométricos (ecualización del histograma) y espectrales (de bandas, obtención de índices de vegetación, componentes principales, índices hidrotermales, etc. Estos realces permiten una mejor visualización de las imágenes (Perez y García, 2013).

Los Sistema de información geográfica (SIG) no son solo programas para realizar mapas, sino herramientas que permiten la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y presentación de datos referidos geográficamente (Soria *et al.*, 1998). En el sector forestal, se ha utilizado en la elaboración de cartografía, reconocimiento de rodales e identificación de diversos tipos de bosques. Se han empleado en la determinación de las etapas de crecimiento, así como en estudios de la regeneración y determinación de las etapas sucesivas, la evaluación e incidencia de incendios forestales, como de los cambios ocurridos en la vegetación (Treviño, 2001).

La planificación del manejo forestal requiere una amplia gama de información que no sólo involucra la propia vegetación del bosque (la composición de la especie, edades, altura etc.), sino también las características del terreno (la elevación, pendiente, etc.), vías de acceso y límites de propiedad de tierra. Esta información espacial en la mayoría de veces, está disponible en formato de mapas, fotografías aéreas e imágenes de satélite, (ITC, 1997).

## **2.5 El uso de imágenes de satelitales para monitorear el bosque.**

Las imágenes de satélite han tenido una gran diversidad de aplicaciones, se han empleado fundamentalmente en la detección de cambios en la cubierta terrestre, para seguir la evolución tanto de áreas forestales, como de superficies incendiadas, desastres naturales, recursos naturales, crecimiento urbano, monitoreo de plagas y enfermedades, manejo de incendios forestales, plantaciones etc. Esta técnica surgió en la década de 70's con el satélite Landsat (Satellite Land), para monitorear regularmente los recursos naturales terrestres. Hasta hoy se ha materializado sólo una pequeña parte de las expectativas iniciales.

La interpretación visual de imágenes Landsat utilizando diversas combinaciones de bandas permiten hacer una buena diferenciación entre las especies forestales de interés y los tipos de ocupación del suelo, recomiendan utilizar las bandas 3 y 4 para construir los índices de vegetación (Chuvieco, 1996; Keuchel *et al.*, 2003).

El NDVI ha sido utilizado en investigaciones para estimar la condición de la vegetación y los cambios en la misma a través de imágenes multitemporales utilizando las regiones del rojo e infrarrojo cercano (Fernández, 2005).

Para la clasificación de imágenes satelitales se han utilizado paquetes de programas aplicando dos métodos la clasificación supervisada y no supervisada, la que mejor responde a la identificación de especies forestales es la primera, mientras que la segunda es recomendada para una preclasificación. (Chuvieco, 2002; Keuchel *et al.*, 2003).

Una de las fórmulas que se han utilizado para obtener la tasa de deforestación en México, es la que utiliza la FAO. Con ella se calcula la superficie de bosque al inicio y final del periodos a estudiar (Gasparri, 2004).

## **2.6 Resolución de imágenes Landsat y RapidEye.**

Las imágenes satelitales cuentan con una diversidad de resolución tanto espacial, como espectral y radiométrica, estas son tomadas por los diferentes sensores satelitales como son Landsat, RapidEye, Ikonos, QuickBird, SPOT entre otras (Reuter, 2009).

La mayoría de los sensores operan en la porción visible e infrarroja del espectro, registran datos en forma de imágenes multiespectrales. Una imagen multiespectral es un conjunto de imágenes individuales (bandas) que permiten ver diferentes regiones del espectro en cada una. Para generar esa imagen, el sensor explora a manera de barrido la superficie de la Tierra, registrando en intervalos regulares la radiación de los objetos que se encuentran en ella. El sensor registra esa radiación en función de la unidad espacial mínima que sea capaz de registrar, conocida como pixel (picture element), y la traduce en un valor numérico (nivel digital=ND). Así, cada banda de la imagen está formada por una matriz de píxeles con ciertos ND cada uno de ellos (Chuvienco, 2002).

Las imágenes Landsat son las que tienen un campo amplio de observación (185 km x 185 km) esto quiere decir que una sola imagen abarca una superficie de 34,225 km<sup>2</sup>, tienen una buena resolución espacio temporal ya que existen imágenes desde 1972 hasta la fecha además pasa por el mismo lugar cada 16 días, también tiene una variedad multiespectral de 11 bandas, en cuanto a su resolución espacial es de 30 y 15 m en la pancromática es considerado como una imagen de mediana resolución. Las imágenes RapidEye es otra que cuenta un campo amplio de observación (77 km x 77 km) pero no supera a las Landsat, abarca una superficie de 5,929 km<sup>2</sup>, no tienen una buena resolución espacio temporal ya que existen imágenes desde 2008 hasta la fecha, cuenta con cinco bandas multiespectral, en cuanto a su resolución espacial es de 5 m considerado como una imagen de alta resolución. Estas imágenes permiten foto-interpretar a color a una escala de hasta 1:2.500, además de generar el índice de vegetación, la delimitación de los recursos y cuerpos de agua con la información del canal rojo e infrarrojo cercano (Reuter, 2009).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del área de estudio.

El ejido Pablillo, se ubica en el municipio de Galeana, al sureste del estado de Nuevo León, México. Es una área de alta producción forestal, con una superficie territorial de 14,679 ha. Geográficamente se localizan entre los 24° 27' y los 24° 39' de Latitud Norte y entre los 99° 54' y 100° 05' de Longitud Oeste (**Figura 1**).



**Figura 1.** Localización del área de estudio.

#### 3.2 Descripción del área de estudio.

El ejido Pablillo se localiza en la Sierra Madre Oriental, con altitudes que van desde 1300 hasta 2940 msnm. Forma parte de cuatro microcuencas, siendo las principales; Santa Clara de González y Santa Rosa, ubicadas en las cuencas de los ríos San Fernando y San Pablo. Corresponde a las regiones hidrológicas de San Fernando Soto de la Marina y el Salado.





**Imagen 1.** Panorámica del Ejido Pablillo.

La topografía del terreno es irregular, presentando desde áreas planas con pendientes de 2 % hasta zonas abruptas que alcanzan hasta 100 %. El clima es semiárido, templado, la temperatura media anual varía entre 12 y 18 °C, con temperatura en el mes más frío entre -3 °C y 18 °C el mes más caluroso. Con lluvias de verano y porcentaje de lluvias invernales mayor al 18 % con respecto al total anual.

El suelo predominante es somero, se encuentran en diversos grados de asociación, entre ellos Leptosol, Regosol y Feozem Calcárico y Litosol. El tipo de vegetación, está constituido por bosque de pino, bosque de pino-encino y bosque mixto.

En el ejido existen nueve localidades, siendo la de mayor importancia Pablillo, en donde habitan 923 personas. El grado de marginación es bajo, las vías de comunicación son buenas donde se puede acceder al ejido mediante una red carretera en perfectas condiciones.

Las fuentes de ingreso de los pobladores son diversas y van desde los pagos de recursos obtenidos por el pago de servicios ambientales de la CONAFOR (500 ha. incorporadas a este programa), programas de manejo forestal otorgados por SEMARNAT, Venta de paixtle (*Tillandsia usneoides*), venta de piñón (*Pinus cembroides*), actividades agrícolas en producción de maíz, cebada, trigo y avena. También cuentan con subsidios gubernamentales como PROCAMPO, Oportunidades, 70 y más, Piso firme, FONAES (SRA., 2011).

### **3.3 Métodos.**

Los métodos utilizados para analizar la composición florística, la diversidad, el índice de degradación y deforestación del bosque en el área de estudio bajo manejo forestal, fueron dos, el directo y el indirecto con los datos obtenidos se precedió a realizar un Análisis de Varianza para comprobar las hipótesis esta se llevó a cabo con la ayuda del programa estadístico SPSS.

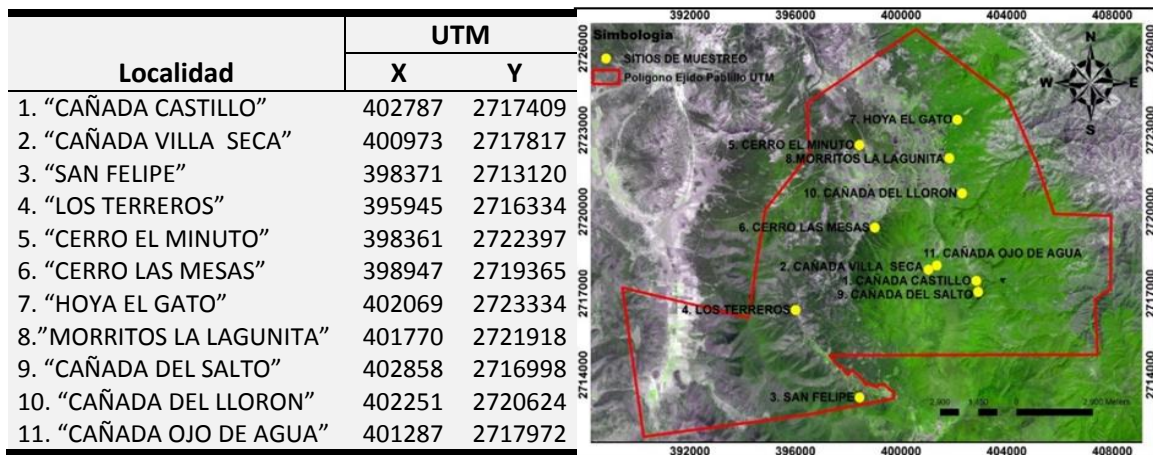
### **3.4 Métodos directos.**

Estos consisten en obtener información a partir de sitios de muestreos directos en campo apoyándose de herramientas que facilitan y ayudaran a determinar la composición, la producción y el comportamiento de la vegetación.

Las unidades de muestreo o comunidades forestales se establecieron por conglomerados y permanentes conforme al inventario nacional forestal, estos fueron dispersos de una manera dirigida dentro del estrato arbóreo teniendo como objetivo evaluar los árboles con diámetros mayores a 7.5 cm. Se utilizan los programas Erdas imagine 2011 y ArcMap 10.1 para identificar geográficamente y espacialmente con las imágenes satelitales las áreas más factibles para realizar los muestreos, inicialmente se establecieron 8 sitios de muestreos posteriormente se incorporaron 3 sitios permanentes de investigación forestal, resultando un total 11 sitios de muestreo (Figura 2).



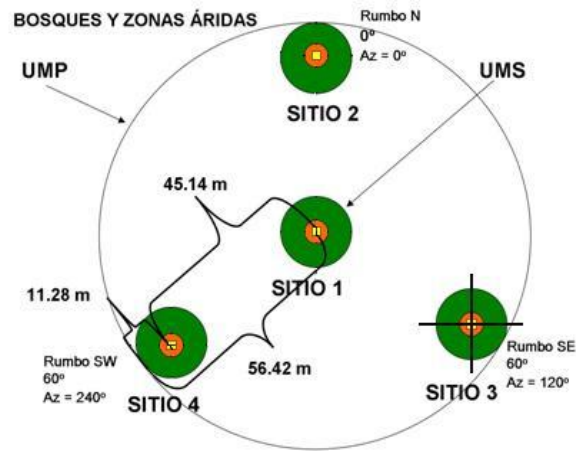
El conocido como “Cañada Castillo” (1) está ubicado en la exposición Este con una altitud de 2214 msnm, “Cañada Villa seca” (2) se encuentra ubicado en la exposición Este con una altitud de 2376 msnm, “San Felipe” (3), está ubicado en la exposición Este a una altitud de 2356 msnm, “Los Terreros” (4) se encuentra en la exposición Este a 2225 msnm, “Cerro el Minuto” (5), se ubica en la exposición Este a una altitud de 2108 msnm, “Cerro las Mesas” (6) se localiza en la exposición Norte a 2143 msnm, “Hoya el Gato” (7) ubicado en la exposición Norte con una altitud de 2052 msnm, “Morritos la Lagunita” (8) localizado en la exposición Norte a 2070 msnm, “Cañada del Salto” (9), se localiza en la exposición Este con una altitud de 2206 msnm, Cañada el Llorón (10) se ubica en la exposición Este en una altitud de 2141 msnm y “Cañada Ojo de agua” (11), se localiza en la exposición Este con una altitud de 2319 msnm, con lo que respecta a la pendiente del terreno la mayoría oscilan entre 5 y 30 %.



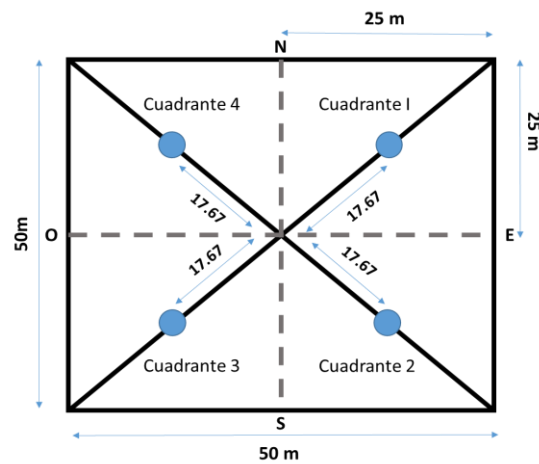
**Figura 2.** Parajes forestales del estrato arbóreo en el Ejido Pablillo.

Las unidades de muestreo son de diferentes formas geométricas pero se estabilizo al tomar la misma información del estrato arbóreo, el DAP (1.30) que fueran igual o mayor a 7.5 cm, con la base de datos y la hoja de cálculo en Excel se regularon los valores convirtiéndolos a hectáreas. Los conglomerados tienen forma circular de 11.28 m de diámetro, está conformado por cuatro sitios de 400 m<sup>2</sup> (1600m<sup>2</sup> = 0.16 ha) (Figura 3). La forma de los sitios permanentes es cuadrada

de 50 x 50 dividido en cuatro cuadrantes de 25x25m ( $2500 \text{ m}^2 = 0.25 \text{ ha}$ ) ordenados conforme a las manecillas del reloj (Figura 4).



**Figura 3.** Esquema de conglomerados de muestreo del Inventario Nacional Forestal (CONAFOR, 2012).



**Figura 4.** Esquema de sitios permanentes de muestreo del Inventario Nacional Forestal (CONAFOR, 2012).

### **3.4.1 Toma de datos de campo.**

Se creó un archivo digital con el programa ArcMap 10.1 para facilitar la localización en campo y dirigirse con el receptor sistema de posicionamiento global (GPS) a los sitios de muestreo, se utilizó formatos e instructivos para el levantamiento de la información, equipo de medición indispensable para la determinación de las variables dendrométricas (cinta métrica, cinta diamétrica, forcípula, hipsómetro, brújula), además de otros materiales para identificar el sitio (chalecos, pintura, cintas fosforescentes, machete, tablas de apoyo, lápices, etc.).

Estos datos fueron procesados para realizar un inventario forestal con cada sitio de muestreo, dichas variables fueron capturadas y analizadas en una hoja de cálculo la cual sirvió para conocer la relación diámetro y altura de cada árbol, el número de árbol por categorías diamétricas, el área basal, la cobertura de copas, el volumen, el número de árboles por hectárea, el área basal por hectárea, la cobertura de copa por hectárea, el volumen por hectárea, los índices de abundancia, dominancia, frecuencia, valor de importancia y los índices de diversidad alfa de Shannon y beta de Sorensen. Además, se realizó toma de fotografías y colectas botánicas como apoyo para identificar los árboles y definir los tipos de vegetación existentes en el predio.

### **3.4.2 Evaluación de los parámetros dasométricos.**

Se calcularon las siguientes variables:

#### **Área basal $m^2$ (G).**

Se entiende como el área de cualquier sección transversal del fuste de un árbol que se encuentra a 1.3 metros del suelo, es decir un diámetro altura de pecho (DAP) y se obtiene con siguiente fórmula:

$$G = (PI/4) * DAP^2 \quad (1)$$

DAP= Diámetro Altura de Pecho en metros

### **Cobertura de copa m<sup>2</sup> (C).**

Es el área ocupada por la proyección perpendicular de las copas sobre el suelo y se usa para medir la espesura del bosque. Se obtiene con la siguiente formula:

$$C = (PI/4) * Dc^2 \quad (2)$$

Dc = Diámetro de copa en metros

### **Volumen m<sup>3</sup> de árboles en pie (V).**

Se define como la cantidad de madera estimada en m<sup>3</sup> a partir del tocón hasta el ápice del árbol. El volumen puede ser total o comercial, sin incluir las ramas. Depende a partir de que se tomen las alturas, si es altura comercial, o altura total. Se obtiene con la siguiente formula:

$$V = G * H * F \quad (3)$$

*G = área basal*

*H = altura de árbol*

*F = coeficiente mórfico de la especie*

### **Número de árboles por hectárea (N\*ha).**

La densidad es expresada como el número de árboles por hectárea, se determinó a partir de los datos obtenidos en campo, donde se suman los árboles presentes en cada sitio de muestreo que estén vivos e inventariables y que sean de diámetros mayores o iguales a 7.5 cm, el valor de los números de árboles por hectáreas varía con respecto al tipo, forma y tamaño de muestreo, para los sitios en forma de conglomerados se muestreo una superficie compuestas por cuatro sub-sitios de 400 m<sup>2</sup> e igual a 1600 m<sup>2</sup> y para los permanentes se evaluó una área de 2500 m<sup>2</sup>, después se empleó la siguiente ecuación para estandarizar los sitios a hectáreas:

$$N*ha = Sn * 10000 / m^2 \quad (4)$$

Sn = suma de árboles presentes de cada sitio o especie.

### **Área basal por hectárea m<sup>2</sup>/ha (G\*ha.).**

El área basal por hectárea corresponde a la suma de la sección transversal del fuste a la altura del DAP de todos los árboles por unidad de superficie es expresada (m<sup>2</sup>/ha).

$$G*ha= SG*10000/m^2 \quad (5)$$

SG= suma de áreas basales presentes en cada sitio o especie.

### **Cobertura de copa por hectárea m<sup>2</sup>/ha (C\*ha).**

La cobertura de copas por hectárea corresponde a la suma de las áreas ocupadas por la proyección perpendicular de las copas de los árboles por unidad de superficie es expresada (m<sup>2</sup>/ha).

$$C*ha= SC*10000/m^2 \quad (6)$$

SC = suma de cobertura de copas

### **Volumen por hectárea m<sup>2</sup>/ha (V\*ha).**

El volumen por hectárea corresponde a la suma de la cantidad de madera en m<sup>3</sup> de los árboles por unidad de superficie. Se obtiene con la siguiente formula:

$$V*ha= SV*10000/m^2 \quad (7)$$

SV= suma de volúmenes presentes en cada sitio o especie.

### **3.4.3 Indicadores ecológicos.**

Para evaluar el comportamiento, la descripción, la composición y la diversidad de las especies arbóreas se utilizaron los indicadores ecológicos: abundancia relativa(AR), dominancia relativa (DR), frecuencia relativa (FR), índice de valor de importancia (IVI), índice de Sorensen (IS) y el índice de Shannon, para ello se utilizaron las siguientes ecuaciones:

### **Abundancia.**

Hace referencia al número de individuos por hectárea y por especie en relación con el número total de individuos. Se distingue la abundancia absoluta (número de individuos por especie) y la abundancia relativa (proporción de los individuos de cada especie en el total de los individuos del ecosistema). (Lamprecht, 1990).

#### **Abundancia absoluta (A).**

$$A = N/S \quad (8)$$

#### **Abundancia relativa (AR).**

$$AR = \left( A / \sum A \right) * 100 \quad (9)$$

N = número de individuos de la especie

AR = abundancia relativa de la especie con respecto a la abundancia total

$\sum A$  = la suma de las abundancias

S = superficie por hectáreas

### **Dominancia.**

Se relaciona con el grado de cobertura de las especies como manifestación del espacio ocupado por ellas y se determina como la suma de las proyecciones horizontales de las copas de los árboles en el suelo. Debido a que la estructura vertical de los bosques naturales tropicales es bastante compleja, la determinación de las proyecciones de las copas de los árboles resulta difícil y a veces imposible de realizar; por esta razón se utiliza las áreas basales, debido a que existe una correlación lineal alta entre el diámetro de la copa y el fuste (Lamprecht, 1990).

Bajo este esquema la dominancia absoluta es la sumatoria de las áreas basales de los individuos de una especie sobre el área especificada y expresada en

metros cuadrados y la dominancia relativa es la relación expresada en porcentaje entre la dominancia absoluta de una especie cualquiera y el total de las dominancias absolutas de las especies consideradas en el área inventariada.

**Dominancia absoluta (D).**

$$D = G/S \quad (10)$$

**Dominancia relativa (DR).**

$$DR = \left( D / \sum D \right) * 100 \quad (11)$$

G = área basal

DR = dominancia relativa de la especie con respecto a la dominancia total

$\sum D$  = la suma de las dominancias

S = superficie por hectárea

**3.4.3.1 Frecuencia.**

Permite determinar el número de parcelas en que aparece una determinada especie, en relación al total de parcelas inventariadas, o existencia o ausencia de una determinada especie en una parcela. La abundancia absoluta se expresa como un porcentaje (100% = existencia de la especie en todas las parcelas), la frecuencia relativa de una especie se determina como su porcentaje en la suma de las frecuencias absolutas de todas las especies.

**Frecuencia absoluta (F).**

$$F = P/S \quad (12)$$

**Frecuencia relativa (FR).**

$$FR = \left( F / \sum F \right) * 100 \quad (13)$$

P = porcentaje de sitios en que aparece la especie

FR = frecuencia relativa de la especie con respecto a la frecuencia total

$\sum A$  = la sumatoria de las frecuencias

NS = número total de sitios de muestreo

### **Índice de valor de importancia (IVI).**

Formulado por Curtis & McIntosh (1951), es posiblemente el más conocido, se calcula para cada especie a partir de la suma de la abundancia relativa, la frecuencia relativa y la dominancia relativa. En relación al total de parcelas inventariadas permite comparar el peso ecológico de cada especie dentro del bosque.

### **Índice de Valor de Importancia (IVI).**

$$IVI = AR + DR + FR \quad (14)$$

### **3.4.4 Diversidad**

La diversidad biológica es la variedad de formas de vida en el planeta, incluyendo los ecosistemas terrestres, marinos y los complejos ecológicos de los que forman parte, más allá de la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y los ecosistemas. La biodiversidad varía según las distintas regiones ecológicas, y es mucho más alta en las zonas tropicales que en climas templados.

### **Diversidad alfa ( $\alpha$ ).**

Corresponde con la riqueza de especies que hay en una unidad paisajística o en un hábitat determinado. Para estimar la diversidad  $\alpha$  se utilizó el índice de índice de Shannon & Weiner ( $H'$ ) (Shannon, 1948) el cual se obtiene con la siguiente formula.

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i * \ln(p_i) \quad (15)$$

$H'$  = diversidad (bits/individuo)

$S$  = número de especies presentes en el bosque

$\ln$  = logaritmo natural

$p_i$  = proporción de las especies  $p_i = n_i/N$ .



### **Diversidad beta ( $\beta$ ).**

Es la diversidad que hay entre hábitats dentro de un mismo ecosistema, es decir, la variación en el número de especies que se produce entre un hábitat y otro. Para estimar la diversidad ( $\beta$ ) se utilizó el índice de Sorensen (IS), Es un índice estadístico que mide la similitud o disimilitud entre dos especies o sitios de muestreo.

$$IS = \frac{2C}{A+C} \times 100 \quad (16)$$

A = Número de especies en el sitio de muestreo 1.

B = Número de especies en el sitio de muestreo 2.

C = Número de especies presentes en ambas estaciones, 1 y 2.

### **3.5 Métodos indirectos.**

Estos consisten en obtener información a partir de imágenes satelitales con los programas Erdas Imagine 2011 y ArcMap 10.1, utilizados para poder separar y clasificar las superficies compuestas por cubierta forestal. Esta clasificación digital de imágenes multiespectrales, se basa en la identificación y agrupamiento de valores numéricos almacenados en los píxeles.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación y obtención de cobertura arbolada, se utilizaron 5 imágenes satelitales de las escenas Path 27 / Row 43 estas fueron tomadas por diferentes sensores, son consideradas como imágenes de mediana y alta resolución. La primera pertenece al satélite Landsat-5 TM del año 1993, la segunda es Landsat-7 ETM+ del 2001, la tercera es Landsat -7 ETM+ del 2005, la cuarta es Landsat -8 OLI-TIRS del 2013 y la quinta es una RapidEye del 2012. Las Landsat se utilizaron para realizar el estudio multitemporal y la RapidEye sirvió de base para obtener las diferentes coberturas vegetales presentes dentro del área de estudio debido a que cuenta con mejor resolución espacial. La mayoría cuenta con buena resolución Multiespectral, Espacial, Radiométrica y Temporal (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Descripción de los sensores satelitales.

Plataforma/Sensor	Resolución multiespectral (Bandas)	Resolución espacial (m)	Área cubierta por escena (km)	Fecha de adquisición de la escena
Landsat -5 TM	7	30	180X172	23/07/1993
Landsat -7 ETM+	8	30	185X185	26/11/2001
Landsat -7 ETM+	8	30	185x185	21/11/2005
Landsat -8 OLI-TIRS	11	30	185x185	03/11/2013
RAPIDEYE	5	5	77x77	11/08/2012

*ETM = Enhanced Thematic Mapper, OLI=Operational Land Imager, TIRS=Thermal Infrared Sensor*

Las imágenes Landsat se obtuvieron de manera gratuita desde el sitio oficial del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) en formato Geo TIFF, cuya dirección es: <http://Landsat.usgs.gov>. Se eligieron las imágenes que tuvieran menos presencia de nubes e imperfecciones ya son factores que alteran los procesos para obtener mejores resultados en la clasificación, esto influyo a utilizar imágenes de diferentes meses. Dichas imágenes fueron elegidas por espacios de tiempo de 8, 4 y 8 años de antigüedad. Las RapidEye fueron compradas por el laboratorio de Geomática de la Facultad de Ciencia Forestales.

### 3.5.1 Métodos para analizar imágenes satelitales.

Los métodos que se utilizaron fueron la comparación visual de imágenes multiespectrales, estimación del NDVI, una clasificación tanto supervisada como no supervisada.

La interpretación visual de las imágenes, se basa en la habilidad humana de relacionar colores y patrones en una imagen de características del mundo real. Muy a menudo el resultado de la interpretación es hecho explícito a través de la digitalización de la geometría y los datos temáticos objetos relevantes (“mapeo”). Esta es utilizada para producir información espacial como: Mapas de suelos, mapas catastrales, mapas de uso de la tierra, etc. (Bakker; Jansen, 2001)

Este método cualitativo consiste en utilizar imágenes multiespectrales, con las cuales se realiza diversas combinaciones de bandas, que expresan las características que componen el suelo, estas fueron utilizadas para realizar interpretaciones visuales, y también fueron de gran utilidad para identificar las áreas con diferentes cubiertas del suelo principalmente la vegetación arbórea.

El NDVI es un estimador indirecto de la degradación ya que analiza el estado de la biomasa y la productividad vegetal del área de estudio. Es considerado como el resultado obtenido de la diferencia y combinación aritmética de dos bandas la roja (R) e infrarroja (IR) sensibles al cambio de la vegetación, el resultado genera una imagen que refleja el contenido de biomasa (verdor) de la vegetación. La ecuación utilizada para obtener el NDVI es la siguiente:

$$\text{NDVI} = ((\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R}))$$

IR = valores de píxel de la banda infrarroja

R = valores de píxel de la banda roja

Este índice genera valores de -1, 0 y 1, los negativos que representan cuerpos de agua, mientras que los valores cercanos a cero son rocas y suelos desnudos para los valores cercanos a uno expresa la vegetación sana.

### **3.5.2 Clasificación digital de imágenes.**

En el proceso de clasificación digital de imágenes el operador instruye a la computadora que realice una interpretación de acuerdo a ciertas condiciones predefinidas. Esta técnica forma parte de la interpretación digital de imágenes (Bakker; Jansen, 2001).

Tradicionalmente se han dividido los métodos de clasificación en dos grupos: supervisado y no supervisado, de acuerdo a la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento. El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías. Por su parte, el método no supervisado procede a una búsqueda

automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen (Chuvieco, 2002).

La clasificación no supervisada fue utilizada para realizar agrupamientos espectrales basados en las características propias de la imagen, sin tomar en consideración categorías previamente establecidas. Este método fue válido para utilizarla como una pre-clasificación estableciendo el número de clases a estudiar antes de establecer y definir las coberturas del área de estudio.

La clasificación supervisada se utilizó para identificar zonas o sectores donde se conocía con certeza el tipo de vegetación o unidad existente (zona urbana, cuerpos de agua, suelos desnudos, pastizal, zonas agrícolas, matorral, bosques, entre otros), Esto se reforzó con pequeñas áreas de entrenamientos, puntos de control, reconocimientos en campo de las coberturas vegetales y la aplicación de un algoritmo de máxima verosimilitud.

### **3.5.3 Procedimiento de clasificación de imagen.**

Utilizando el programa Erdas Imagine 2011, se realizó un análisis de las bandas para determinar cuáles eran las adecuadas que expresan la cobertura arbórea presente en el área de estudio (Cuadro 3), para las imágenes satelitales RapidEye se utilizaron las cinco bandas que la componen y con Landsat se seleccionaron seis bandas, las cuales fueron unidas y transformadas de formato .tiff a .img, formando imágenes conocidas como multispectrales estas se georectificaron utilizando la misma proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum WGS84, Zona 14 Norte. Esto fue de utilidad para poder hacer la comparación espacial de las superficies y realizar un recorte exacto del área de estudio apoyado del polígono en formato .shp se crea una máscara que conserva todas las características espectrales de la imagen.

Se realizó una pre-corrección radiométrica para equilibrar los valores de Niveles Digitales (DN), después se sometido a un realce de paso alto 3 x 3, también se realizaron una serie de combinaciones con las bandas para formar composiciones

en falso color estas ayudaron a visualizar e identificar la combinación más adecuadas que expresan las principales cubiertas del terreno. Se aplicó el NDVI el cual nos arroja el índice de la cobertura vegetal indicando si existe degradación en la vegetación. Posteriormente se realizó un algoritmo isodata de clasificación no supervisada utilizando la imagen RapidEye donde inicialmente se obtuvieron 10 clases, después se efectuó la clasificación supervisada utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud y el apoyo de áreas de entrenamiento que sirvieron para separar y definir las ocho clases que componen el área de estudio. Las imágenes Landsat multitemporales se les aplicó la clasificación supervisada para separar dos clases categorizadas como áreas con arbolado y sin arbolado a estas áreas se les calculó la cantidad de hectáreas que ocupan dentro del área de investigación.

Por último se utilizó el programa ArcMap 10.1 para diseñar los resultados en mapas multitemporales que expresan de manera visual y numérica la cantidad de cobertura arbórea existente en cada determinado año.

**Cuadro 3.** Tabla de las bandas que se unieron en las imágenes Landsat

B	RapidEye	B	Landsat-5 TM (µm)	B	Landsat-7 ETM+ (µm)	B	Landsat-8 OLI-TIRS (µm)	Resolución espacial	Descripción
1	0.44-0.51	1	0.45-0.51	1	0.45-0.51	2	0.433-0.453	30	Aerosol costero
2	0.52-0.59	2	0.52-0.60	2	0.52-0.60	3	0.450-0.515	30	B (Azul)
3	0.63-0.68	3	0.63-0.69	3	0.63-0.69	4	0.525-0.600	30	G (verde)
4	0.69-0.73	4	0.75-0.90	4	0.75-0.90	5	0.630-0.680	30	R (Rojo)
5	0.76-0.85						0.845-0.885	30	NIR (infrarrojo cercano)
		5	1.55-1.75	5	1.55-1.75	6	1.560-1.660	30	SWIR1 (infrarrojo medio)
		6	10.4-12.5	6	10.4-12.5	7	2.100-2.300	30	SWIR2 (infrarrojo medio)
		7	2.08-2.35	7	2.10-2.30	8	0.500-0.680	15	PAN (pancromática)
				8	0.52-0.90	9	1.360-1390	30	CIRRUS (cirrus)
						10	10.6-11.2	100	TIRS1 (infrarrojo térmico)
						11	11.5-12.5	100	TIRS2 (infrarrojo térmico)

*B = Bandas, PAN= Pancromática, CIRRUS= Nubes de cristales de hielo.* Fuente: Propia

### 3.5.4 Cálculo de la superficie deforestada utilizando imágenes satelitales.

Para realizar los cálculos de la tasa de deforestación en hectáreas y en porcentaje se utilizó las siguientes formulas:

$$d = A2 - A1 \quad (17)$$

A1: superficie de bosque 1993

A2: superficie de bosque 2001

d: tasa de deforestación en hectáreas

$$d\% = \frac{d*100}{A1} \quad (18)$$

A1: superficie de bosque 1993

d: tasa de deforestación en hectáreas

d%: porcentaje de deforestación

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Método directo.

Aplicando el método directo con las variables dasométricas convencionales obtenidas en campo, se evaluó la estructura florística, composición y diversidad del bosque.

#### 4.1.1 Estructura florística del estrato arbóreo.

Los 11 parajes muestreados corresponden a una superficie de 2.03 ha, donde se encontró tres comunidades forestales de encino-pino, pino y pino-encino, el área está compuesta por 6 familias, 6 géneros y 10 especies. La familia Pinaceae cuenta con un total de cinco especies, la Fagaceae dos, para las Ericaceae, Rosaceae y Juglandaceae una (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Lista de especies encontradas en las comunidades forestales.

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Pino de Oregón	Pinaceae
<i>Arbutus xalapensis</i>	Madroño	Ericaceae
<i>Crataegus baroussana</i>	Tejocote	Rosaceae
<i>Juglans regia</i>	Nuez de Castilla	Juglandaceae
<i>Pinus arizonica</i>	Pino de Arizona	Pinaceae
<i>Pinus cembroides</i>	Pino Piñonero	Pinaceae
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Pino Blanco	Pinaceae
<i>Pinus teocote</i>	Ocote	Pinaceae
<i>Quercus mexicana</i>	Encino de México	Fagaceae
<i>Quercus polymorpha</i>	Encino Roble	Fagaceae

En el paraje 1 conocido como “Cañada Castillo” la vegetación arbórea se encuentra compuesta por cinco especies. La especie más abundante es *Quercus mexicana* con el 72 % del total de árboles/ha, seguida de *Pinus pseudostrobus* con el 13 %, *Arbutus xalapensis* con 7 %, *Pseudotsuga menziesii* con 6 % y *Juglans regia* con un 2 %.

La especie más dominante, es *Quercus mexicana* con un 56 % de dominancia relativa, seguida de *Pinus pseudostrobus* con un 27 %, *Pseudotsuga menziesii* 10 %, las especies menos dominantes son *Arbutus xalapensis* con el 6 % y *Juglans regia* con un 2 %.

En cuanto a la frecuencia la mejor sigue siendo *Quercus mexicana* con un 29 %, seguida de *Pinus pseudostrobus*, *Pseudotsuga menziesii* y *Arbutus xalapensis* con un 21 % por especie, la menos frecuente es *Juglans regia* con un 7 %.

La especie con mejor índice de valor de importancia es *Quercus mexicana* con el 52 %, seguida de *Pinus pseudostrobus* con un 20 %, *Pseudotsuga menziesii* y *Arbutus xalapensis* con un 12%, la de menor importancia es *Juglans regia* con 4 %. Las familias predominantes son la fagácea y pinácea dando origen a una comunidad forestal de encino-pino (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Análisis de IVI en el paraje “Cañada Castillo”.

Paraje	N. de Individuos	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valor de Importancia
			A	AR	D	DR	F	FR	IVI
			(N/ha)	(%)	(m <sup>2</sup> /ha)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	3	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	19	6	1.47	10	0.75	21	12
1	4	<i>Arbutus xalapensis</i>	25	7	0.87	6	0.75	21	12
1	1	<i>Juglans regia</i>	6	2	0.28	2	0.25	7	4
1	7	<i>Pinus pseudostrobus</i>	44	13	4.08	27	0.75	21	20
1	39	<i>Quercus mexicana</i>	244	72	8.62	56	1.00	29	52
<b>Total</b>	<b>54</b>		<b>338</b>	<b>100</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>4</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



**Imagen 2.** Comunidad forestal de encino-pino, paraje “Cañada Castillo”



En el paraje 2, conocido como “Cañada Villa seca”, se encontró que lo constituyen seis especies, de las cuales *Quercus mexicana* es la más abundante con 71 % de abundancia relativa, seguida de la especie *Pinus teocote* 11 %, *Quercus polymorpha* 8 %, las especies con menor abundancia son *Arbutus xalapensis*, *Crataegus baroussana* y *Pinus pseudostrobus* con un 5 y 3 %.

Las especies más dominante es *Quercus mexicana* con 74 % de dominancia relativa seguida de *Pinus teocote* 14 % y *Quercus polymorpha* 11 %, las menos dominantes son, *Arbutus xalapensis*, *Crataegus baroussana* y *Pinus pseudostrobus* con 1 % cada uno.

La especie más frecuente es *Quercus mexicana* con 27 % de frecuencia relativa, seguida de *Pinus teocote* 20 %, las especies menos frecuentes son *Pinus polymorpha*, *Arbutus xalapensis*, *Crataegus baroussana* y *Pinus pseudostrobus* con el 13 % cada uno.

La especie con mejor índice de valor de importancia es *Quercus mexicana* con el 57 %, *Pinus teocote* 15 % y *Quercus polymorpha* 11 %, las especies menos importantes son *Arbutus xalapensis*, *Crataegus baroussana* y *Pinus pseudostrobus* con el 6 % cada uno. Las más dominantes pertenecen a las familias Fagaceae y Pinaceae dando origen a una comunidad forestal de encino-pino (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Análisis de IVI en el paraje “Cañada Villa seca”.

Paraje	N. de Individuos	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valor de Importancia
			A	AR	D	DR	F	FR	IVI
			(N/ha)	(%)	(m <sup>2</sup> /ha)	(%)	(%)	(%)	(%)
2	3	<i>Arbutus xalapensis</i>	19	5	0.14	1	0.50	13	6
2	2	<i>Crataegus baroussana</i>	13	3	0.19	1	0.50	13	6
2	2	<i>Pinus pseudostrobus</i>	13	3	0.19	1	0.50	13	6
2	7	<i>Pinus teocote</i>	44	11	3.31	14	0.75	20	15
2	46	<i>Quercus mexicana</i>	288	71	18.06	74	1.00	27	57
2	5	<i>Quercus polymorpha</i>	31	8	2.58	11	0.50	13	11
<b>Total</b>	<b>65</b>		<b>406</b>	<b>100</b>	<b>24</b>	<b>100</b>	<b>4</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



**Imagen 3.** Comunidad forestal de encino-pino, paraje “Cañada Villa seca”

Para los parajes 3 conocido como “San Felipe”, el 4 como “Los Terreros” y el 6 como “Cerro las Mesas”, se encontraron que están constituidos por una sola especie de *Pinus cembroides*, teniendo 263, 150 y 175 árboles/ha y una área basal de 24.2, 9.3 y 12.1 m<sup>2</sup>/ha, estos representan a la familia Pinaceae y dan origen a tres comunidades forestales puras de bosque de pino. (Cuadro 7, 8, 9).

**Cuadro 7.** Análisis de IVI en el paraje “San Felipe”.

Paraje	N. de Individuos	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valor de Importancia
			A (N/ha)	AR (%)	D (m <sup>2</sup> /ha)	DR (%)	F (%)	FR (%)	IVI (%)
3	42	<i>Pinus Cembroides</i>	263	100	24.25	100	4.00	100	100
<b>Total</b>	<b>42</b>		<b>263</b>	<b>100</b>	<b>24</b>	<b>100</b>	<b>4</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



**Imagen 4.** Comunidad forestal de pino, paraje “San Felipe”

**Cuadro 8.** Análisis de IVI en el paraje “Los Terreros”.

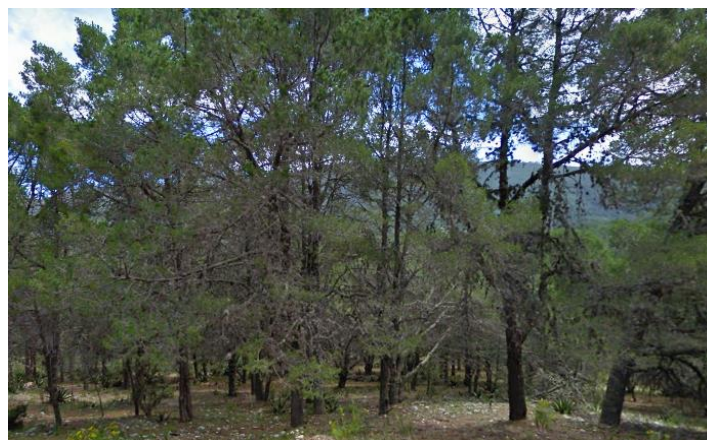
Paraje	N. de Individuos	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valor de Importancia
			A	AR	D	DR	F	FR	
			(N/ha)	(%)	(m <sup>2</sup> /ha)	(%)	(%)	(%)	
4	24	<i>Pinus Cembroides</i>	150	100	9.32	100	4.00	100	100
<b>Total</b>	<b>24</b>		<b>150</b>	<b>100</b>	<b>9</b>	<b>100</b>	<b>4</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



**Imagen 5.** Comunidad forestal de pino, paraje “Los Terreros”

**Cuadro 9.** Análisis de IVI en el paraje “Cerro las Mesas”.

Paraje	N. de Individuos	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valor de Importancia
			A	AR	D	DR	F	FR	
			(N/ha)	(%)	(m <sup>2</sup> /ha)	(%)	(%)	(%)	
6	28	<i>Pinus Cembroides</i>	175	100	12.17	100	1.00	100	100
<b>Total</b>	<b>28</b>		<b>175</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



**Imagen 6.** Comunidad forestal de pino, paraje “Cerro las Mesas”



El paraje 5 identificado como “Cerro el Minuto”, lo conforman dos especies *Pinus arizonica* y *Pinus cembroides*, siendo más abundante *Pinus arizonica* con el 81 % de abundancia relativa, es el más dominante con un 84 % y es el más frecuente con un 84 % de frecuencia relativa. Ambos forman parte de la familia Pinaceae y originan una comunidad de pino (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Análisis de IVI en el paraje “Cerro el Minuto”.

Paraje	N. de Individuos	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valor de Importancia
			A (N/ha)	AR (%)	D (m <sup>2</sup> /ha)	DR (%)	F (%)	FR (%)	IVI (%)
5	34	<i>Pinus arizonica</i>	213	81	6.41	84	1.00	80	82
5	8	<i>Pinus cembroides</i>	50	19	1.23	16	0.25	20	18
<b>Total</b>	<b>42</b>		<b>263</b>	<b>100</b>	<b>8</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



**Imagen 7.** Comunidad forestal de pino, paraje “Cerro el Minuto”

El paraje 7 conocido como “Hoya el Gato”, se encontró que está constituido por tres especies siendo *Quercus mexicana* la más abundante con 68 % de abundancia relativa, seguida de *Pinus pseudostrobus* 30 %, la especie menos abundante es *Arbutus xalapensis* 2 %,

Para la dominancia se encontró que *Arbutus xalapensis* es la más dominante con un 55 % de abundancia relativa, *Pinus pseudostrobus* con 44 %, la especie menos dominante es *Quercus mexicana* con 1 %.

En cuanto a frecuencia se encontró que *Arbutus xalapensis* es la más frecuente con 50 % de frecuencia relativa, seguida de *Pinus pseudostrobus* 38 %, la especie menos frecuente es *Quercus mexicana* 13 %.

Las especies arbóreas con mejor índice de valor de importancia son *Quercus mexicana* y *Pinus pseudostrobus* con 58 % y 37 %, la especie menos importante es *Arbutus xalapensis* 5 %, predominando la familia Fagaceae sobre la Pinaceae estas forman una comunidad de encino-pino (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Análisis de IVI en el paraje “Hoya el Gato”.

Paraje	N. de Individuos	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valor de Importancia
			A	AR	D	DR	F	FR	IVI
			(N/ha)	(%)	(m <sup>2</sup> /ha)	(%)	(%)	(%)	(%)
7	1	<i>Arbutus xalapensis</i>	6	2	0.15	1	0.25	13	5
7	15	<i>Pinus pseudostrobus</i>	94	30	10.78	44	0.75	38	37
7	34	<i>Quercus mexicana</i>	213	68	13.61	55	1.00	50	58
<b>Total</b>	<b>50</b>		<b>313</b>	<b>100</b>	<b>25</b>	<b>100</b>	<b>2</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



**Imagen 8.** Comunidad forestal de encino-pino, paraje “Hoya el Gato”

En el paraje 8 identificado como “Morritos la Lagunita”, se encontró que la vegetación arbórea está constituida por tres especies, siendo *Quercus mexicana* la más abundante 88 % de abundancia relativa, seguida de *Pinus pseudostrobus* el 10 %, la especie menos abundante es *Arbutus xalapensis* 2 %.

Para la dominancia se encontró que *Quercus mexicana* es la más dominante con un 90 % de abundancia relativa, seguida de *Pinus pseudostrobus* 9 %, la especie menos dominante es *Arbutus xalapensis* 1 %.

En cuanto a frecuencia se encontró que *Quercus mexicana* es la más frecuente con un 57 % de frecuencia relativa, seguida de *Pinus pseudostrobus* 29 %, la especie menos frecuente es *Arbutus xalapensis* 14 %.

Las especies arbóreas con mejor índice de valor de importancia son *Quercus mexicana* y *Pinus pseudostrobus* 78 % y 16 %, la especie menos importante es *Arbutus xalapensis* 6 %, al predominar la familia Fagaceae sobre la Pinaceae estas forman una comunidad de encino-pino (Cuadro 12).

**Cuadro 12.** Análisis de IVI en el paraje “Morritos la Lagunita”.

Paraje	N. de Individuos	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valor de Importancia
			A rboles•h	AR (%)	D (m <sup>2</sup> /ha)	DR (%)	F (%)	FR (%)	IVI (%)
8	1	<i>Arbutus xalapensis</i>	6	2	0.16	1	0.25	14	6
8	5	<i>Pinus pseudostrobus</i>	31	10	2.63	9	0.50	29	16
8	45	<i>Quercus mexicana</i>	281	88	24.12	90	1.00	57	78
<b>Total</b>	<b>51</b>		<b>319</b>	<b>100</b>	<b>27</b>	<b>99</b>	<b>2</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



**Imagen 9.** Comunidad forestal de encino-pino, paraje “Morritos la Lagunita”

El paraje 9 identificado como “Cañada del Salto”, está conformado por seis especies de las cuales la más abundante es *Pseudotsuga menziesii* contando con un 37 % de abundancia relativas, seguida de *Quercus mexicana* 20 %, *Pinus cembroides* 19 %, *Quercus polymorpha* 16 %, las especies menos abundantes son *Arbutus xalapensis* y *Pinus pseudostrobus* con 5 y 2 %.

En cuanto a la dominancia se encuentro que la mejor es *Pseudotsuga menziesii* con un 35 % de dominancia relativa, seguida de *Quercus polymorpha* 22 %, *Quercus mexicana* 21 % y *Pinus cembroides* 20 %, las especies menos dominantes son *Arbutus xalapensis* y *Pinus cembroides* con 1 % por especie.

En frecuencia las mejores son *Quercus mexicana*, *Quercus polymorpha*, *Pinus cembroides*, *Pseudotsuga menziesii* con un 19 % para cada especie, las menos frecuentes son *Arbutus xalapensis* 14 % y *Pinus pseudostrobus* 10 %.

En índice de valor de importancia la especie *Pseudotsuga menziesii* es la mejor con el 31 %, seguida de *Pinus cembroides* 20 %, *Quercus mexicana* 20 % y *Quercus polymorpha* 19 %, las especies menos importantes son *Arbutus xalapensis* con un 4 % y *Pinus pseudostrobus* con un 7 %, predominando la familia Pinaceae y Fagaceae las que dan origen a la comunidad forestal de pino-encino (Cuadro 13).

**Cuadro 13.** Análisis de IVI en el paraje “Cañada del Salto”.

Paraje	N. de Individuos	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valor de Importancia
			A	AR	D	DR	F	FR	IVI
			(N/ha)	(%)	(m <sup>2</sup> /ha)	(%)	(%)	(%)	(%)
9	56	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	224	37	12.75	35	1.00	19	31
9	8	<i>Arbutus xalapensis</i>	32	5	0.25	1	0.75	14	7
9	29	<i>Pinus cembroides</i>	116	19	7.25	20	1.00	19	20
9	3	<i>Pinus pseudostrobus</i>	12	2	0.41	1	0.50	10	4
9	30	<i>Quercus mexicana</i>	120	20	7.51	21	1.00	19	20
9	24	<i>Quercus polymorpha</i>	96	16	7.79	22	1.00	19	19
<b>Total</b>	<b>150</b>		<b>600</b>	<b>100</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>100</b>	<b>100</b>





**Imagen 10.** Comunidad forestal de pino-encino, paraje “Cañada del Salto”

El paraje 10 conocido como “Cañada el Llorón” está constituido por cuatro especies arbóreas de estas la más abundante es *Pinus pseudostrobus* 45 % de abundancia relativa, seguida de *Quercus mexicana* 44 %, las menos abundantes son *Quercus polymorpha* y *Arbutus xalapensis* con 9 y 3 %.

La más dominante es *Quercus mexicana* con un 65 % de dominancia relativa, seguida de *Pinus pseudostrobus* 26 % y *Quercus polymorpha* 9 %, la especie sin dominancia es *Arbutus xalapensis* con el 0 %.

Las especies más frecuentes son *Pinus pseudostrobus*, *Quercus mexicana* y *Quercus polymorpha* con 29 % de frecuencia relativa para cada especie, la menos frecuente es *Arbutus xalapensis* 14 %.

En cuanto a al índice de valor de importancia la especie *Quercus mexicana* es la mejor 46 %, seguida de *Pinus pseudostrobus* 33 %, y *Quercus polymorpha* 15 %, la especie arbórea menos importante es *Arbutus xalapensis* 6 %. La familia que predomina es la Fagaceae y Pinaceae dando origen a una comunidad forestal de encino-pino (Cuadro 14).



**Cuadro 14.** Análisis de IVI en el paraje “Cañada el Llorón”.

Paraje	N. de Individuos	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valor de Importancia
			A	AR	D	DR	F	FR	IVI
			(N/ha)	(%)	(m <sup>2</sup> /ha)	(%)	(%)	(%)	(%)
10	3	<i>Arbutus xalapensis</i>	12	3	0.08	0	0.50	14	6
10	42	<i>Pinus pseudostrobus</i>	168	45	7.54	26	1.00	29	33
10	41	<i>Quercus mexicana</i>	164	44	18.86	65	1.00	29	46
10	8	<i>Quercus polymorpha</i>	32	9	2.56	9	1.00	29	15
<b>Total</b>	<b>94</b>		<b>376</b>	<b>100</b>	<b>29</b>	<b>100</b>	<b>4</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



**Imagen 11.** Comunidad forestal de encino-pino, paraje “Cañada el Llorón”

En el paraje 11 conocido como “Cañada Ojo de agua”, está conformado por tres especies arbóreas, la más abundante es *Quercus mexicana* con 89 % de abundancia relativa, las menos abundantes son *Pinus teocote* y *Arbutus xalapensis* con el 7 y 4 %.

En cuanto a la dominancia la mejor es *Quercus mexicana* con el 81 % de dominancia relativa, seguida de *Pinus teocote* 17 %, la especie menos dominante es *Arbutus xalapensis* 4 %.

En frecuencia las mejores son *Quercus mexicana* y *Pinus teocote* con el 36 % de frecuencia relativa, la especie menos frecuente es *Arbutus xalapensis* 28 %.

Para el índice de valor de importancia la más importante es *Quercus mexicana* con un 69 %, seguida de *Pinus teocote* 20 % y la menos importante es *Arbutus*

*xalapensis* 11 %. En este predomina la familia Fagaceae y Pinaceae dando origen a una comunidad de encino-pino (Cuadro 15).

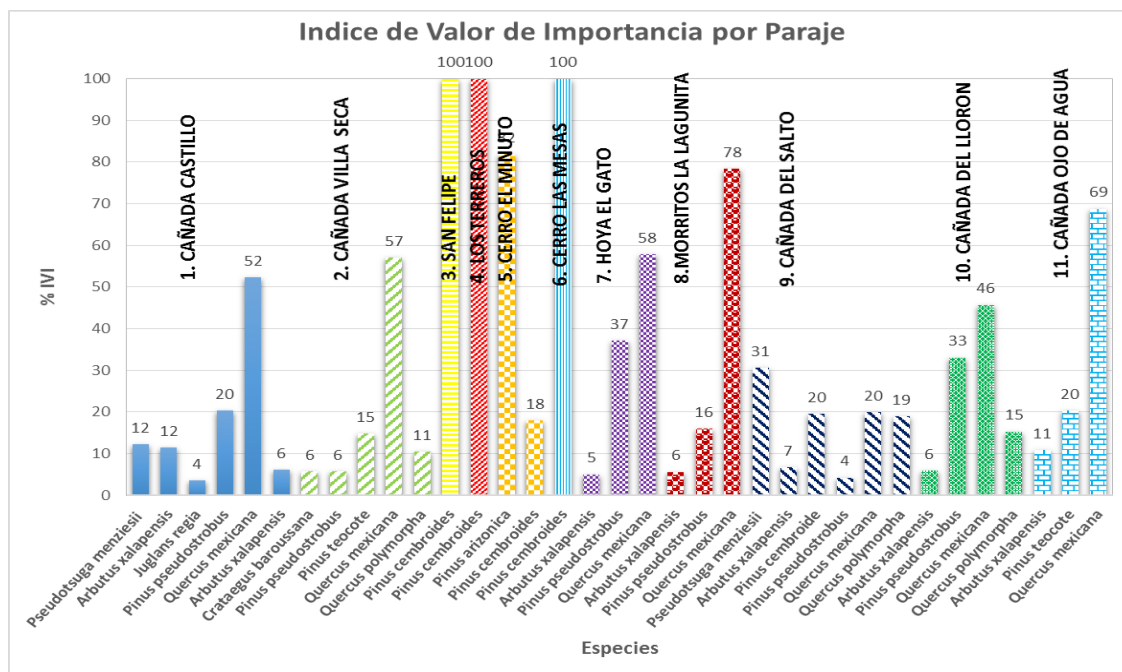
**Cuadro 15.** Análisis de IVI en el paraje “Cañada Ojo de agua”.

Paraje	N. de Individuos	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valor de Importancia
			A	AR	D	DR	F	FR	
			(N/ha)	(%)	(m <sup>2</sup> /ha)	(%)	(%)	(%)	
11	6	<i>Arbutus xalapensis</i>	24	4	0.48	1	0.75	27	11
11	11	<i>Pinus teocote</i>	44	7	5.58	17	1.00	36	20
11	133	<i>Quercus mexicana</i>	532	89	26.59	81	1.00	36	69
<b>Total</b>	<b>150</b>		<b>600</b>	<b>100</b>	<b>33</b>	<b>100</b>	<b>3</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



**Imagen 12.** Comunidad forestal de encino-pino, paraje “Cañada Ojo de agua”

Los parajes con Índice de Valor de Importancia más altos son “San Felipe”, “Los Terreros” y “Cerro las Mesas” conformados por una sola especie de *Pinus cembroides*, esto indica que al aumentar el número especies disminuye el IVI y al aumentar el número de individuos el IVI aumenta (Figura 5).



**Figura 5.** Índice de Valor de Importancia por Paraje.

Para comprobar estadísticamente si existe diferencia en composición florística se utilizó el Índice de Valor de Importancia de los parajes, utilizando un ANOVA los resultados demostraron que si existen diferencias significativas ( $P=0.008$ ) entre parajes (Cuadro 16).

**Cuadro 16.** Análisis de Varianza del IVI

ANOVA					
IVI					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	18260.934	10	1826.093	3.284	.008
Dentro de grupos	13344.195	24	556.008		
Total	31605.130	34			

#### 4.1.2 Distribución horizontal y vertical de las especies forestales.

En el cuadro 17 se observa los resultados de la valoración cualitativa donde se existe un total de 750 individuos, la especie de mayor abundancia es *Quercus mexicana* y *Pinus cembroides* con 368 y 131 individuos, los de menor abundancia

son *Juglans regia* y *Crataegus baroussana* presentando 1 y 2 individuos, estas no fueron consideradas como especies forestales.

En altura las especies que sobre salen son *Pinus teocote*, *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus mexicana*, *Pinus pseudostrobus*, *Quercus polymorpha*, *Pinus arizonica* con 13 - 28 metros. En diámetro, *Pinus teocote*, *Quercus mexicana*, *Pinus pseudostrobus*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus cembroides*, *Quercus polymorpha* y *Pinus arizonica* fueron los mejores con individuos de 40 - 76.9 centímetros.

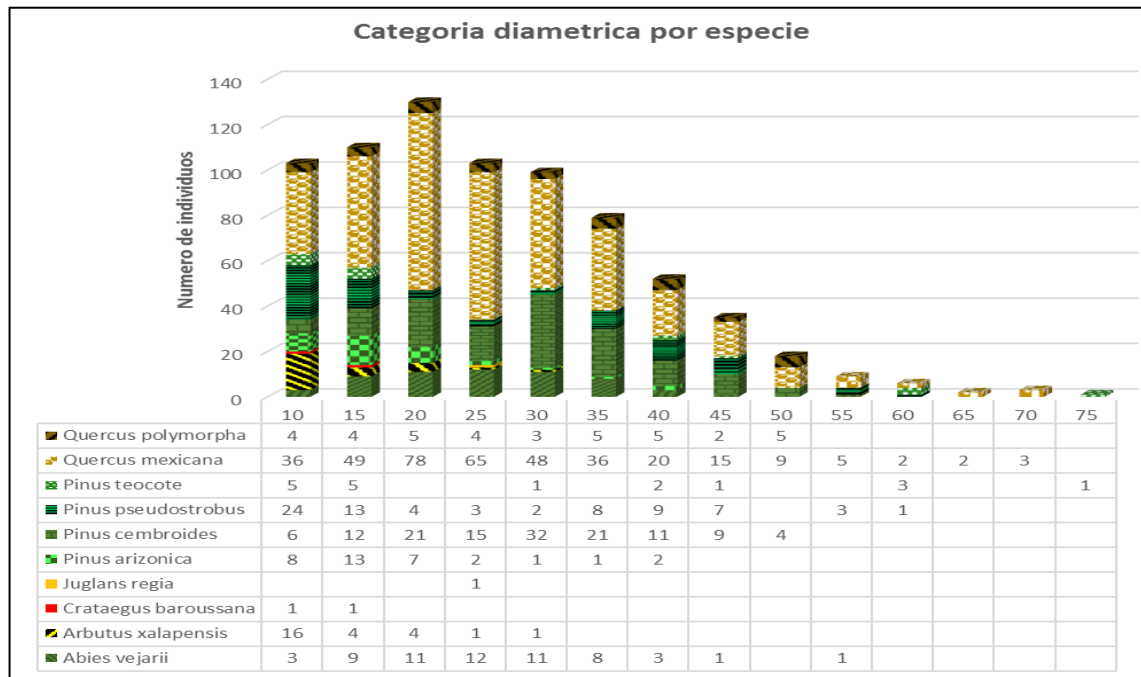
**Cuadro 17.** Número de individuos encontrados por especie forestal.

Especies	N. individuos	Altura (m)			Diámetro (cm)		
		Promedio	Min	Max	Promedio	Min	Max
<i>Juglans regia</i>	1	10.1	10.1	10.1	24.0	24.0	24.0
<i>Crataegus baroussana</i>	2	7.5	7.0	7.9	13.7	12.0	15.4
<i>Pinus teocote</i>	18	15.3	3.3	27.8	29.7	7.6	76.9
<i>Arbutus xalapensis</i>	26	5.8	3.3	10.9	13.0	7.1	29.0
<i>Pinus arizonica</i>	34	10.2	5.2	13.8	17.8	7.5	41.4
<i>Quercus polymorpha</i>	37	10.6	2.7	19.8	29.4	7.5	50.4
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	59	16.2	6.8	22.7	25.7	8.5	54.1
<i>Pinus pseudostrobus</i>	74	12.4	5.1	22.6	24.7	8.2	60.6
<i>Pinus cembroides</i>	131	11.8	5.9	19.9	28.5	7.8	52.0
<i>Quercus mexicana</i>	368	12.0	2.4	23.5	26.0	7.5	69.0
Total	750	11.2	5.2	17.9	23.3	9.8	47.3

Para conocer si son heterogéneas las comunidades forestales, se realizó el análisis para cada especie, estableciendo categorías diamétricas (Cuadro 18). Se encontró el género *Quercus* con gran diversidad de diámetros desde 10 - 70 cm y los *Pinus* desde 10 - 75 cm, en su totalidad el 59 % pertenecen a diámetros desde 10 - 25 cm y el 41 % de 30 – 75 cm (Figura 6). Esto indica que existe un bosque irregular con el mayor número de árboles jóvenes y menos en maduros.

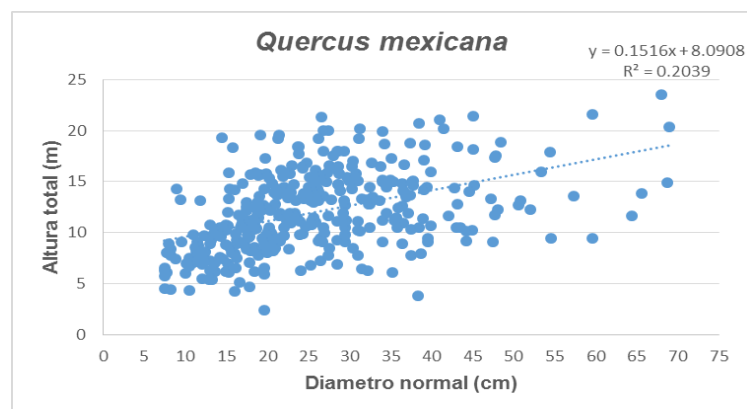
**Cuadro 18.** Categorías diamétricas

Categoría Diamétrica	Diámetro Normal	Categoría Diamétrica	Diámetro Normal	Categoría Diamétrica	Diámetro Normal
10	(7.5 - 12.5)	35	(32.6 - 37.5)	60	(57.6 - 62.5)
15	(12.6 - 17.5)	40	(37.6 - 42.5)	65	(62.6 - 67.5)
20	(17.6 - 22.5)	45	(42.6 - 47.5)	70	(67.6 - 72.5)
25	(22.6 - 27.5)	50	(47.6 - 52.5)	75	(72.5 - 77.5)
30	(27.6 - 32.5)	55	(52.6 - 57.5)		



**Figura 6.** Categoría diamétrica por especie.

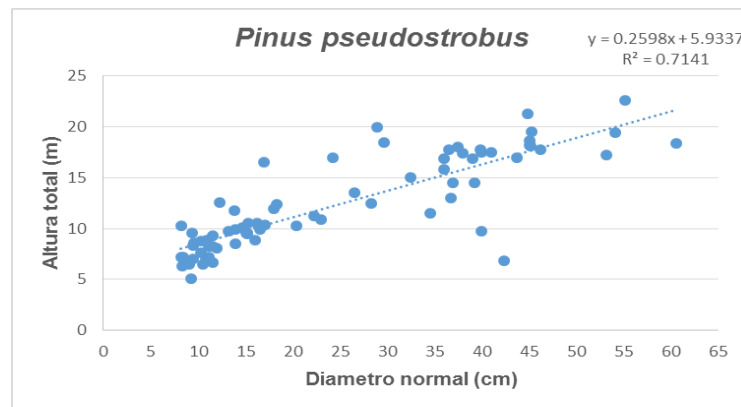
La especie *Quercus mexicana* es la que predomina por tener 368 árboles, es la que tiene más número de individuos con diámetros de 7.5 - 69 centímetros, el 62 % corresponde a diámetros pequeños y el 38 % a grandes, para la altura se encontró que existen arboles con alturas de 2.4 - 23.5 metros. Al relacionar diámetro normal y la altura total se encontró que existe una alta variación y la correlación es baja con  $r^2=0.20$  (Figura 7).



**Figura 7.** Relacion diámetro normal y altura total de *Quercus mexicana*.

La especie *Pinus cembroides* cuenta 131 árboles con diámetros que van desde 7.8 - 52 centímetros, el 41 % corresponde a diámetros pequeños y el 49 % a diámetros grandes, se encontró que en esta especie existen alturas de 5.9 - 19.9 metros. Al relacionar diámetro normal y la altura total se encontró que existe una alta variación y la correlación es muy baja con  $r^2=0.14$ .

En *Pinus pseudostrobus* se encontró 74 individuos con diámetros de 8.2 - 60.6 centímetros, el 59 % corresponde a diámetros pequeños y el 41 % a diámetros grandes, esta especie presenta alturas que van desde 5.1 - 22.6 metros. En cuanto a la relación diámetro normal y altura total de esta especie existe una buena correlación teniendo  $r^2=0.71$  (Figura 8).

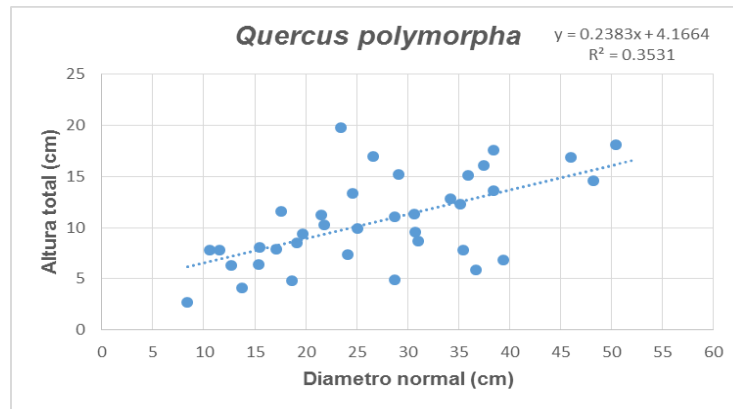


**Figura 8.** Relacion diametro normal y altura par *Pinus pseudostrobus*.

*Pseudotsuga menziesii* tiene 59 individuos con diámetros de 8.5 - 54 centímetros, el 59 % corresponde a diámetros pequeños y el 41 % a diámetros grandes, en altura existen árboles de 6.8 - 22.7 metros. En cuanto a la relación diámetro normal y altura total, se encontró que tiene una correlación muy baja debido a que existen diámetros y alturas alejados de la línea de tendencia  $r^2=0.35$ .

*Quercus polymorpha* tiene 37 individuos con diámetros que oscilan de entre 7.5 - 50.4 centímetros, el 46 % corresponde a diámetros pequeños y el 54 % a diámetros grandes, analizando las alturas se encontró que existen arboles con 2.7 - 19.8 metros. Al relacionar el diámetro normal y la altura total de esta especie se encontró que existe una correlación baja con  $r^2=0.35$  (Figura 9).

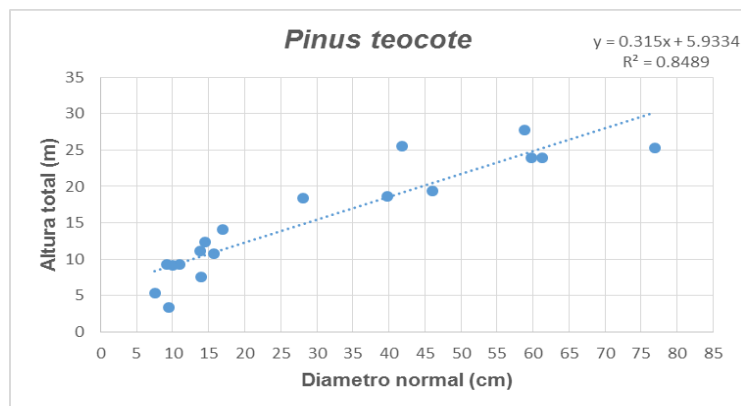




**Figura 9.** Relacion diametro normal y altura total *Quercus polymorpha*.

*Pinus arizonica* tiene 34 individuos con diámetros de 7.5 - 41.4 centímetros, de estos el 88 % corresponde a diámetros pequeños y el 22 % a diámetros grandes, con respecto a la altura se encontraron árboles que tienen de 5.2 - 13.8 metros. Al realizar el análisis de diámetro normal y altura total se encontró que existe una correlación positiva, pero esta es demasiada baja  $r^2 = 0.15$ .

*Pinus teocote* tiene 18 individuos con diámetros de 7.6 hasta 76.9 centímetros, el 56 % corresponde a diámetros pequeños, el 44 % a diámetros grandes, en altura existen árboles de 3.3 hasta 27.8 metros. En la relación diámetro normal y altura total se encontró que esta especie es la que mejor correlación tuvo con una  $r^2 = 0.84$  debido a que se ajusta mejor a la línea de tendencia (Figura 10).



**Figura 10.** Categorías diametricas y altura para *Pinus teocote*.

### 4.1.3 Características dasométricas por comunidad forestal.

Realizando el análisis de las variables dasométricas por comunidad forestal, se encontró que el área de estudio está compuesta por seis comunidades de encino-pino, cuatro de pino y una de pino-encino.

El bosque de encino-pino obtuvo las mejores variables con un total de 2351 árboles/ha, 157 m<sup>2</sup>/ha de área basal, 6.8 ha de área de copa y 1494 m<sup>3</sup>/ha de volumen, seguido del bosque de pino con 850 árboles/ha, 53 m<sup>2</sup>/ha de área basal, 1.6 ha de área de copa y 519 m<sup>3</sup>/ha de volumen, para el bosque de pino-encino se encontró un total de 600 árboles/ha, 36 m<sup>2</sup>/ha de área basal, 1.4 ha de área de copa y 386 m<sup>3</sup>/ha de volumen, el resultado de área de copa son muy altas debido a que existen arboles a distintas alturas formando varios estratos arbóreos esto hace que las copas se traslapen (Cuadro 19).

**Cuadro 19.** Relación de las características dasométricas por sitio.

Paraje	Comunidad forestal	N. árbol/ha	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	Área de copa (ha)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)
1. “Cañada Castillo”	encino-pino	338	15.33	1.32	208.66
2. “Cañada Villa seca”	encino-pino	406	24.46	0.87	258.91
3. “San Felipe”	pino	263	24.25	0.58	155.33
4. “Los Terreros”	pino	150	9.32	0.21	88.27
5. “Cerro el Minuto”	pino	263	7.64	0.33	174.04
6. “Cerro las Mesas”	pino	175	12.17	0.45	101.84
7. “Hoya el Gato”	encino-pino	313	24.54	0.66	187.97
8. “Morritos la Lagunita”	encino-pino	319	26.91	0.54	202.19
9. “Cañada del Salto”	pino-encino	600	35.97	1.42	385.92
10. “Cañada del Llorón”	encino-pino	376	29.04	1.26	248.97
11. “Cañada Ojo de agua”	encino-pino	600	32.66	2.16	386.98
<b>Promedio general</b>		<b>346</b>	<b>22.03</b>	<b>0.89</b>	<b>218.10</b>
<b>Total general</b>		<b>3801</b>	<b>242.29</b>	<b>9.81</b>	<b>2399.09</b>



#### 4.1.4 Características dasométricas por especie forestal.

Realizando el análisis de las variables dasométricas por especie, se encontró que las especies *Quercus mexicana* y *Pinus cembroides* fueron las que obtuvieron la mayor producción de área basal con un 48 y 22 %, en área de copa el 54 y 16 % y para volumen 50 y 19 % respectivamente. Las ocho especies restantes alcanzaron un total de 30 % de área basal, 34 % en área de copa y el 31 % de volumen.

Descartando las especies *Arbutus xalapensis*, *Crataegus baroussana* y *Juglans regia* se obtuvo un total de 2315 m<sup>3</sup>/ha de volumen para las especies forestales. En valor promedio se encontraron 308 árboles/ha, una área basal de 24.23 m<sup>2</sup>/ha, 0.8 ha de área de copa y 239.9 m<sup>3</sup>/ha de volumen. En este caso también el área de copa es muy alta debido a que las especies presentan diversas alturas formando estratos y cada estrato hace que se traslapen las copas de los más bajos con los más altos. (Cuadro 20).

**Cuadro 20.** Análisis dasométricas por especie.

Género y Especie	N. árbol/ha	Área basal m <sup>2</sup> /ha	Área de copa m <sup>2</sup> /ha	Volumen m <sup>3</sup> /ha
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	243	14.22	0.63	156.08
<i>Arbutus xalapensis</i>	124	2.13	0.31	74.20
<i>Crataegus baroussana</i>	13	0.19	0.01	6.25
<i>Juglans regia</i>	6	0.28	0.03	3.13
<i>Pinus arizonica</i>	213	6.41	0.26	140.22
<i>Pinus cembroides</i>	754	54.21	1.57	449.16
<i>Pinus pseudostrobus</i>	361	25.64	0.88	217.64
<i>Pinus teocote</i>	88	8.89	0.28	52.24
<i>Quercus mexicana</i>	1841	117.37	5.33	1196.65
<i>Quercus polymorpha</i>	159	12.94	0.50	103.51
<b>Promedio</b>	<b>380.10</b>	<b>24.23</b>	<b>0.98</b>	<b>239.91</b>
<b>Total general</b>	<b>3801</b>	<b>242.29</b>	<b>9.81</b>	<b>2399.09</b>

#### 4.1.5 Diversidad

##### Índice de diversidad alfa ( $\alpha$ ).

Se encontraron diferencias entre las comunidades forestales, el máximo índice de diversidad de Shannon lo obtuvo “cañada del salto” con  $H' = 1.53$ , seguida de las comunidades “Cañada del Llorón” con  $H' = 1.04$ , “Cañada Villa seca” con  $H' = 1.03$ , “Cañada Castillo” con  $H' = 0.92$  y “Hoya el Gato” con  $H' = 0.70$ , las menos diversas fueron “Cerro el Minuto” con  $H' = 0.48$ , “Cañada Ojo de agua” con  $H' = 0.42$  y “Morritos la Lagunita”  $H' = 0.41$ , las comunidades sin diversidad son la de “San Felipe”, “Los Terreros” y “Cerro las Mesas”. Esto indica que a medida que aumenta el número de individuos y el número de especies, el índice de Shannon también incrementa (Cuadro 21).

Al realizar el análisis de varianza se encontró que estadísticamente las comunidades forestales no presentan diferencias significativas en diversidad biológica ( $P = 0.080$ ) (Cuadro 22).

El valor máximo valor del índice de Shannon coincide al que encontró Alanís 2010 en su trabajo de investigación el cual evaluó áreas sin tratamientos de restauración ecológica en un bosque de pino-encino para dos exposiciones noroeste con  $H' = 1.51$  y noreste con un  $H' = 1.52$ , considerando que tienen una buena diversidad biológica.

**Cuadro 21.** Índice de Shannon y prueba de Tukey por comunidad forestal.

Comunidad forestal	N. de individuos	N. de especies	$H'$
1. “Cañada Castillo”	54	5	0.927108
2. “Cañada Villa seca”	65	6	1.0381643
3. “San Felipe”	42	1	0.0000000
4. “Los Terreros”	24	1	0.0000000
5. “Cerro el Minuto”	42	2	0.4869127
6. “Cerro las Mesas”	28	1	0.0000000
7. “Hoya el Gato”	50	3	0.7016828
8. “Morritos la Lagunita”	51	3	0.4152178
9. “Cañada del Salto”	150	6	1.5352229
10. “Cañada del Llorón”	94	4	1.0414868
11. “Cañada Ojo de agua”	150	3	0.4270097

**Cuadro 22.** Análisis de varianza utilizando los valores de Shannon por paraje.

ANOVA					
Shannon					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.182	10	.018	1.997	.080
Dentro de grupos	.219	24	.009		
Total	.401	34			

gl=Grados de libertad, F=valor de F tabla.

### Índice de diversidad beta ( $\beta$ ).

Para realizar el índice de diversidad beta se relacionaron el número de especies encontradas por comunidades forestales (Cuadro 23).

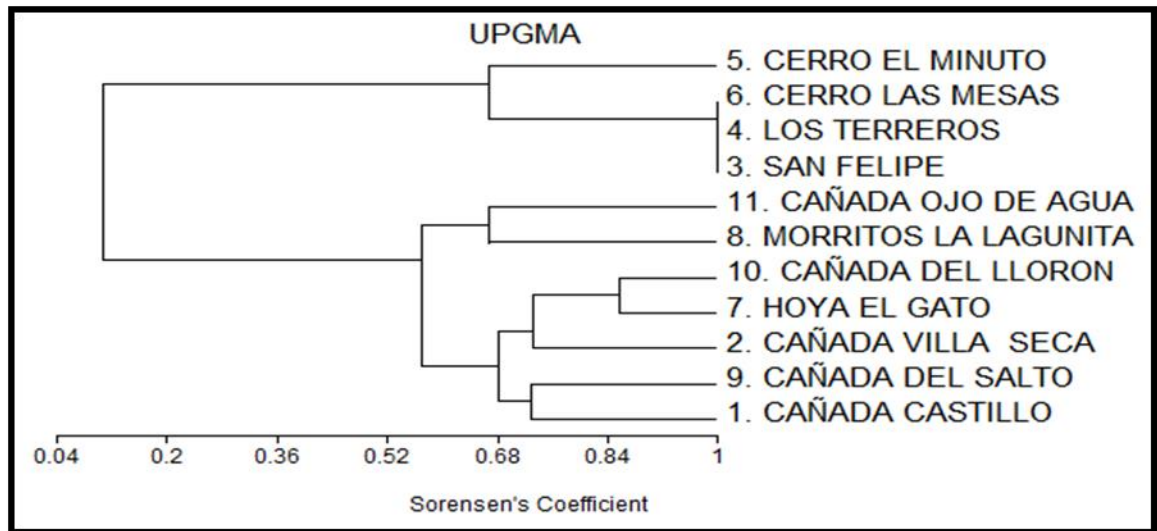
**Cuadro 23.** Número de especies encontradas por comunidades forestales.

Especies/Paraje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Abies vejarii</i>	3								56		
<i>Arbutus xalapensis</i>	4	3					1	1	8	3	6
<i>Crataegus baroussana</i>		2									
<i>Juglans regia</i>	1										
<i>Pinus arizonica</i>					34						
<i>Pinus cembroides</i>			42	24	8	28			29		
<i>Pinus pseudostrobus</i>	7	2					15	5	3	42	
<i>Pinus teocote</i>		7									11
<i>Quercus mexicana</i>	39	46					34	45	30	41	133
<i>Quercus polymorpha</i>		5							24	8	

Analizando la diferencia en composición florística de las comunidades forestales, se encontró que están conformado por dos grupos, estos tienen un índice de similitud del 0.10 indicando que son diferentes en un 90 %.

El primero grupo está constituido por cuatro parajes, siendo los más similares el de “San Felipe”, “Los Terreros” y cerró las mesas con un índice de  $1.0 = 100\%$  para cada comunidad, entre estas comunidades y la del “Cerro el Minuto” existe una índice de similitud del  $0.66 = 66\%$ .

El segundo grupo está conformado por siete parajes, los más similares son “Cañada del Llorón” con “Hoya el Gato” teniendo un índice del  $0.85 = 85\%$ , estos dos se relacionan con el paraje “Cañada Villa seca” en un índice de  $0.73 = 73\%$ , para “Cañada del Salto” y “Cañada Castillo” tienen un índice de similitud del  $0.72 = 72\%$ , por último los parajes “Cañada Ojo de agua” y “Morritos la Lagunita” tienen una similitud del  $0.66 = 66\%$  (Figura 11).

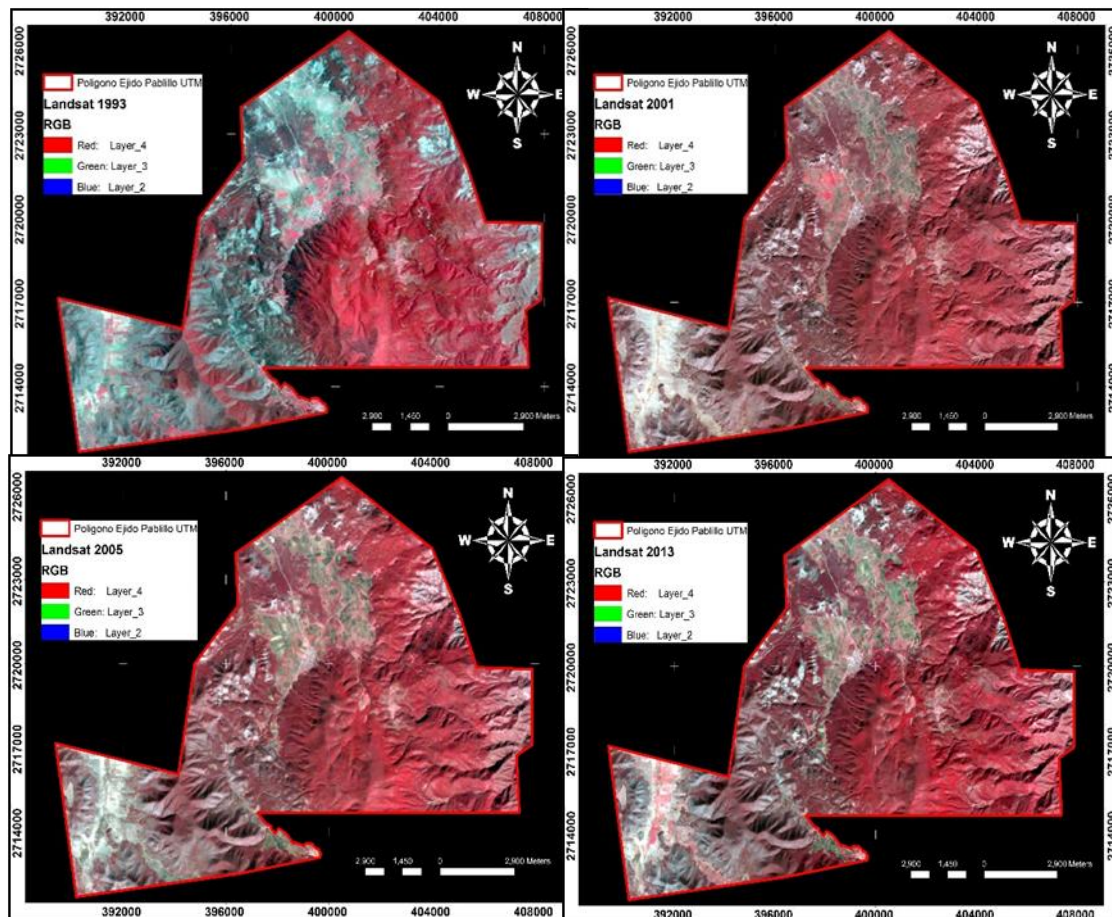


**Figura 11.** Dendrograma de similitud entre parajes.

## 4.2 Método indirecto.

### 4.2.1 Composición en falso color.

Utilizando esta técnica de análisis visual se combinaron las bandas 4, 3 y 2 para identificar las áreas con cobertura vegetal en las cuatro imágenes satelitales de 1993, 2001, 2005 y 2013, en la figura 12 se observa que al noreste y sureste del área de estudio para cada año se encuentra cubierta por vegetación forestal más sana en tonos color rojo, en las zonas del noroeste y suroeste se encuentran las áreas con poca vegetación compuesta por suelos desnudos, áreas agrícolas y caminos, estos se expresan en colores cian y blancos. Gebhard (2003) utilizó la clasificación digital de imágenes Landsat para identificar especies forestales encontrando que la mejor combinación de bandas fue (4, 3 y 2).

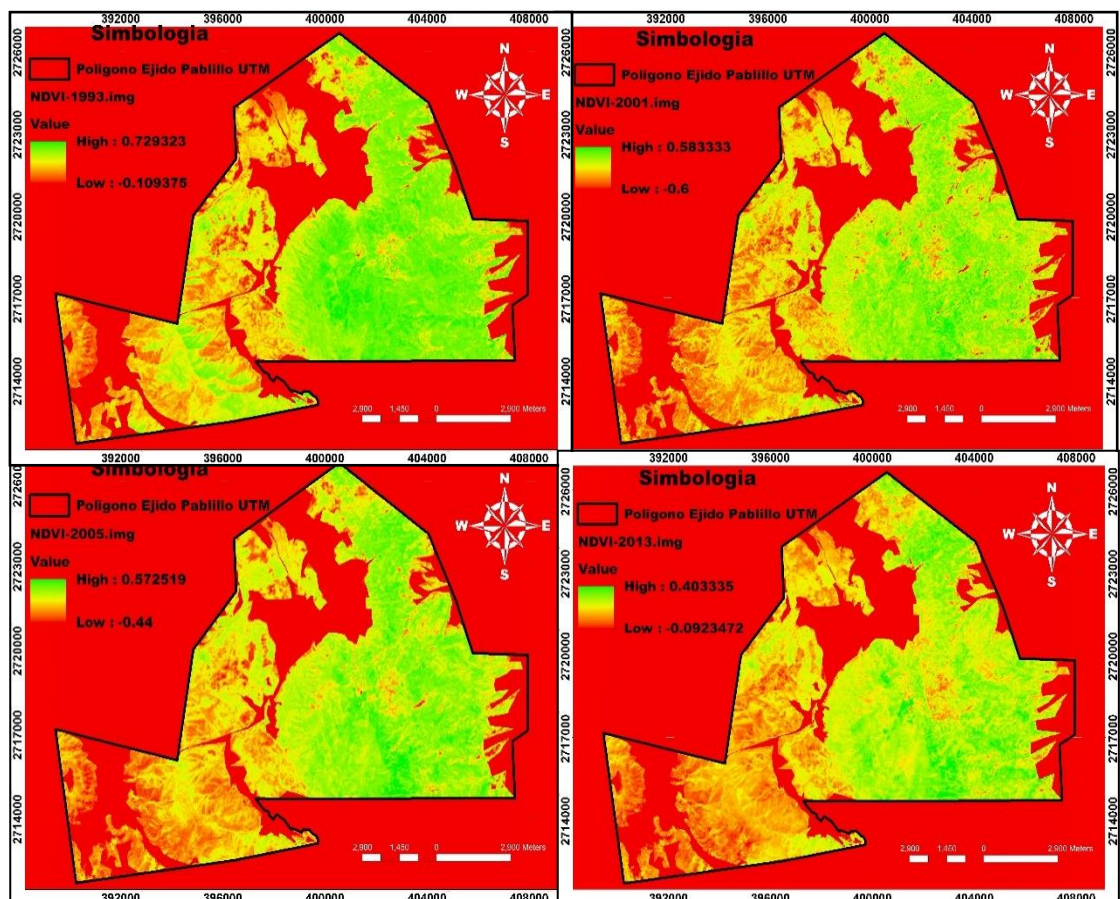


**Figura 12.** Falso color infrarrojo.

#### 4.2.2 Análisis del NDVI.

En la figura 13 se aprecia el resultado de cuatro imágenes satelitales a las que se les aplicó el NDVI. Estos tienen valores que oscilan entre -0.6 hasta 0.72, la zona noreste y sureste de cada imagen está representada en color verde indicando a la vegetación más sana, la zona del sureste en color naranja y amarillo son los que representan a lugares con poca vegetación, en la zona del noroeste se encuentran áreas de color rojo representando las rocas y los suelos descubiertos.

La imagen de 1993 fue la que obtuvo mayor valor de vegetación sana; esta oscila entre 0.46 hasta 0.72 y representa una superficie de 5,224 ha, seguida del 2001 que presentó valores de 0.30 a 0.58 con una superficie de 4,733 ha, en 2005 se encontró que la vegetación más sana entre 0.33 a 0.57 con una área de 4,624 ha y para el 2013 se observó valores de 0.27 a 0.40 y una superficie de 4,384 ha.



**Figura 13.** Análisis visual del NDVI.



Se encontró que los valores cercanos a uno fueron disminuyendo conforme pasa el tiempo y al igual disminuye la superficie que cubre las áreas más sanas, bajo este criterio se define que si existe degradación de la cobertura vegetal a través del tiempo, de 1993 al 2001 se degradó el 9 %, del 2001 al 2005 un 2 % y del 2005 al 2013 un 5 % dando un total del 16% desde 1993 hasta el 2013. Fernández (2005) encontró que el NDVI es de utilidad para identificar los cambios de la cubierta vegetal con imágenes satelitales multitemporales y para actualizar la cartografía.

Al realizar el análisis de varianza para comprobar la existencia de degradación se encontró que estadísticamente existe diferencia significativa en los valores del NDVI por año dando un valor de  $P= 0.000$  (Cuadro 24).

**Cuadro 24.** Análisis de varianza utilizando los valores de NDVI.

ANOVA					
NDVI					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.770	3	.257	55.675	.000
Dentro de grupos	.374	81	.005		
Total	1.144	84			

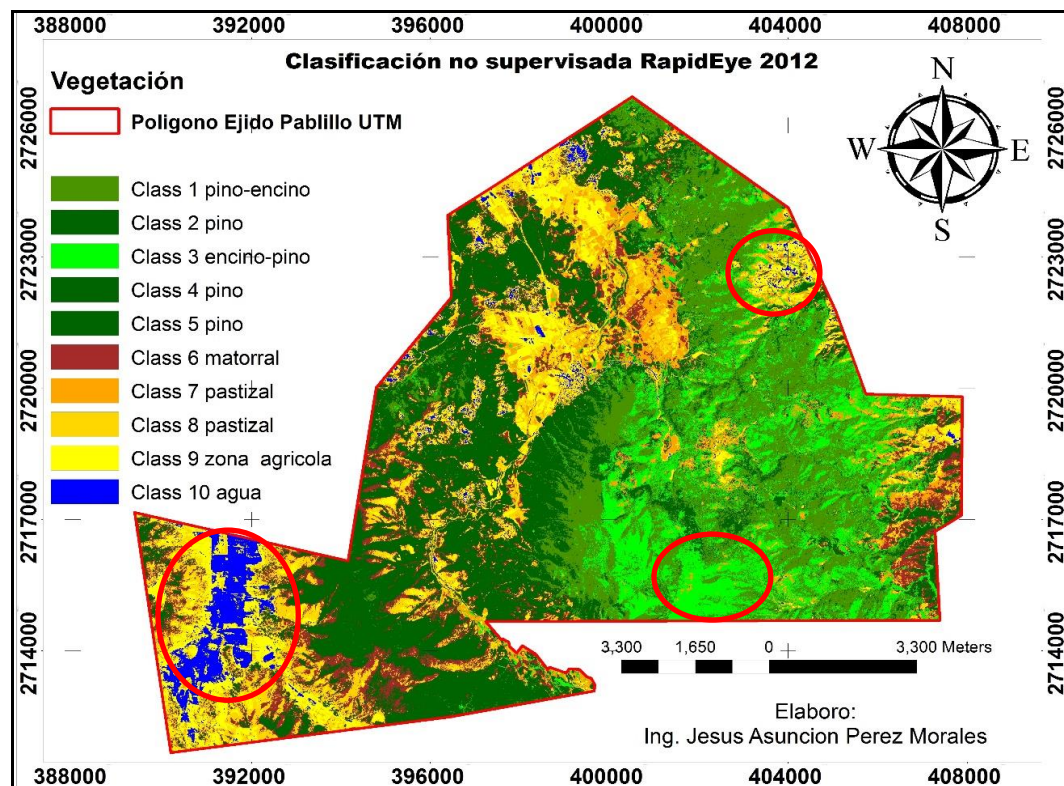
#### 4.2.3 Clasificación no supervisada.

Al realizar la clasificación no supervisada isodata el software indicó que las 10 clases generadas de manera automática crea una confusión espectral y sobre estima algunas categorías, en la figura 14 se observa en un círculo rojo al noreste del área de estudio donde confunde la clase 3 de encino-pino con zonas de matorral, en la zona este confunde la clase 9 agricultura con zonas de matorral y en el oeste confunde la clase 10 agua con zonas agrícolas.

Valdez R., Gonzales J. y De los Santos M. 2006 realizaron el trabajo de investigación en un bosque de pino en Montecillo estado de México donde estimaron la cobertura arbórea mediante imágenes satelitales multiespectrales de

alta resolución aplicando el método no supervisado el cual sobre estimo los datos de precisión.

Macedo A., Pajares G. y Santos M., 2010 encontraron en su trabajo de investigación que la clasificación no supervisada es más efectiva para utilizarla como pre-procesamiento ya que agrupa los componentes del área de estudio con poca precisión y confunde algunas clases.



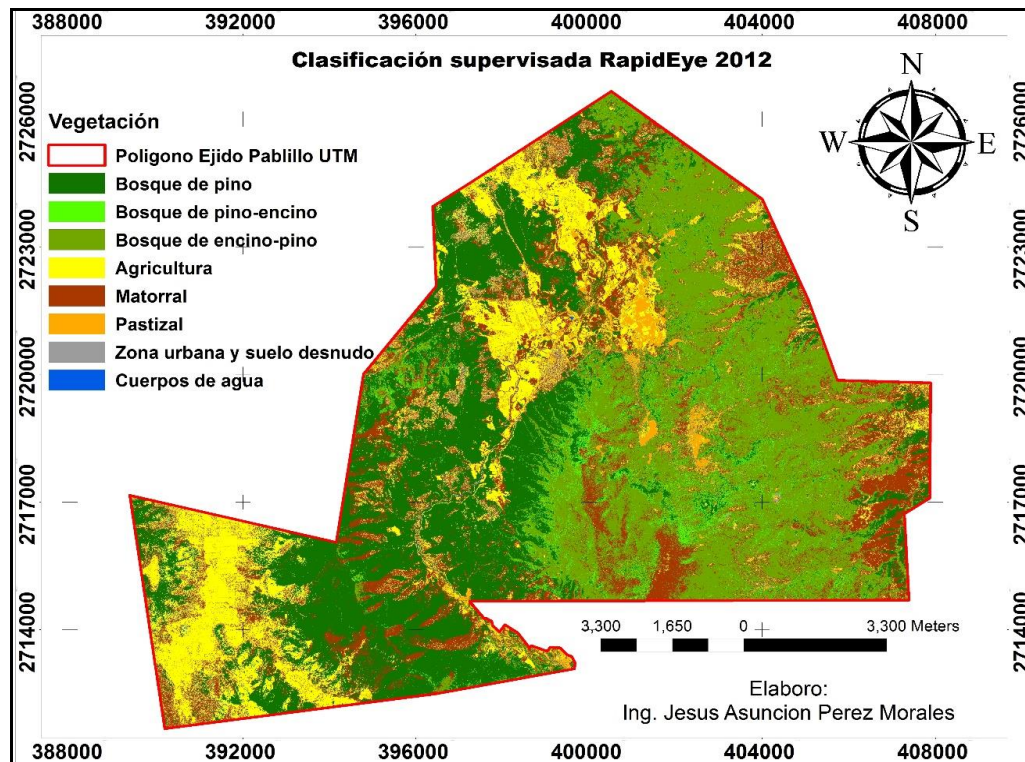
**Figura 14.** Clasificación no supervisada usando la imagen, RapidEye 2012.

#### 4.2.4 Clasificación supervisada.

Como se puede observar en la figura 15 se aplicó el método de clasificación supervisada con el algoritmo de máxima verosimilitud donde se identificó y categorizo en ocho diferentes clases que representan las principales cubiertas del suelo, estas fueron Agricultura de temporal, cuerpos de agua, matorral, pastizal, zona urbana, bosque de encino-pino, bosque de pino y bosque de pino-encino. El principal objetivo fue encontrar y delimitar la cobertura arbórea para



posteriormente realizar el estudio multitemporal. Champo O., Valderrama L. y España M. 2012 encontró que el método de clasificación supervisada sirvió para separar las áreas de bosque y no bosque con éxito, su trabajo de investigación se enfocó en pérdida de cobertura forestal de bosque Abies, Pinus y Quercus, en la reserva de la biósfera mariposa monarca, Michoacán, México.

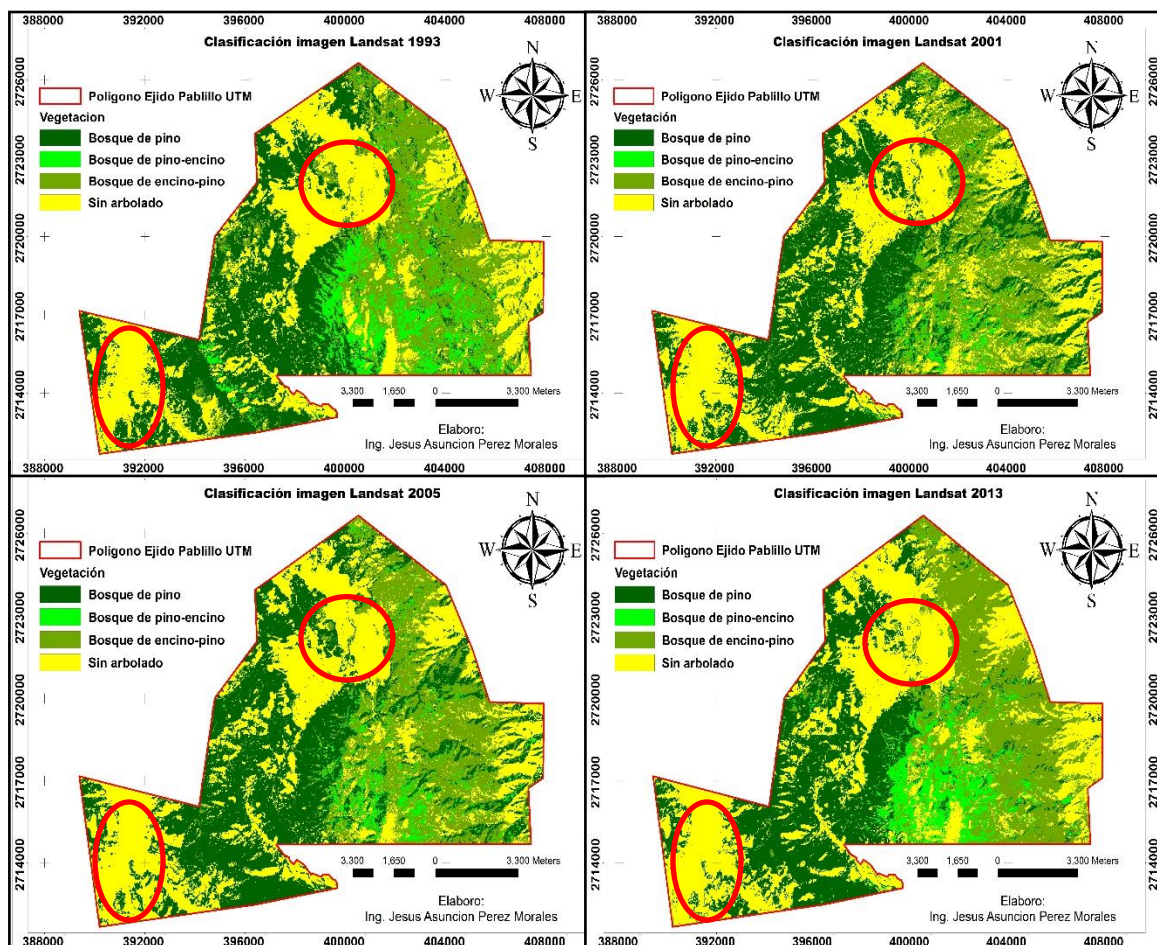


**Figura 15.** Clasificación supervisada usando la imagen, RapidEye 2012.

#### 4.2.5 La clasificación supervisada multitemporal.

Utilizando las imágenes LandSat se realizó el estudio multitemporal al cual se le aplicó una clasificación supervisada de máxima verosimilitud, como apoyo se utilizaron áreas de entrenamiento dirigidos a los 11 sitios de muestreos, estos sirvieron para separar el área de estudio y obtener como resultado la superficie con cuatro clases categorizadas como bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de encino-pino y sin arbolado para cada año, la superficie que contiene las comunidades forestales se encuentran entre el 61 y 65 % y el de sin arbolado se encuentra entre el 39 y 35 % (Figura 16).

De manera visual podemos observar que las comunidades forestales de bosque de pino se encuentra con mayor cobertura en el año de 1993, en el 2001 y 2005 estas se desplaza y aumenta hacia al este, para el 2013 disminuye notablemente las zonas del este, en el bosque de pino-encino se observa que en 1993 existe más cobertura esta disminuye notablemente en el 2001 y 2005 pero se recupera para el 2013, en lo que respecta al bosque de encino-pino esta se ha desarrollado y expandiendo a través del tiempo desde 1993 hasta el 2013, en la imagen del 2013 es donde existe mayor cobertura.



**Figura 16.** Cobertura forestal en los años de 1993, 2001, 2005 y 2013.

Existe una notable deforestación de la cobertura forestal a través del tiempo en las zonas del noroeste y suroeste del área de estudio del año 2013 estas se encuentra sobre zonas agrícolas resaltando en un círculo color rojo y demostrando que la zona deforestada pertenece a un bosque de pino.





Imagen 13. Causas de deforestación y degradación del bosque.

## Análisis de superficies por comunidad forestal

La superficie de cobertura por comunidad forestal indica que en el año de 1993 existía un 50 % de bosque de pino, un 13 % de bosque de pino-encino y un 37 % de bosque de encino pino, para el 2001 se encontró compuesta por el 61 % de bosque de pino, el 5 % de pino-encino y el 34 % de encino pino, en 2005 tenía un 59 % de bosque de pino, un 6% de bosque de pino-encino y un 35 % bosque de encino pino, para el 2013 estaba constituido por un 49 % de bosque de pino, un 12 de pino-encino y un 39 % de encino-pino (Cuadro 25).

Analizando el bosque de bosque de pino existe un aumento entre 1993 y 2001 de 662 ha, entre el 2001 y 2005 esta disminuye 87 ha, del 2005 al 2013 se encontró la máxima disminución de 1172 ha y comparando el año de 1993 con el 2013 esta reduce 397 ha.

En el bosque de pino-encino existe una disminución de 776 ha entre 1993 y 2001, para el 2001 y 2005 esta aumento 111 ha, entre el 2005 y 2013 aumenta 534 ha, comparando el año de 1993 y el 2013 existe una pérdida de 131 ha.

Para el bosque de encino-pino se encontró que en los años de 1993 y 2001 existe una pérdida de 241 ha, entre el 2001 y 2013 se recuperó 170 ha, entre 2005 y 2013 siguió aumentando de superficie con 338 ha y comparando el año de 1993 y 2013 se obtuvo que al área aumenta 68 ha.

Esto indica que conforme pasa el tiempo existen aumento y disminución de la superficie en cada comunidad forestal, la mayor superficie de bosque de pino se encuentra en el año 2005, el bosque de pino encino se encuentra en 1993 y para superficie con más bosque de encino-pino se encuentra en el año 2013.

**Cuadro 25.** Cobertura forestal para los años de 1993, 2001, 2005, y 2013.

Comunidad forestal / Año	1993	2001	2005	2013
Bosque de pino	4793	5656	5568	4396
Bosque de pino-encino	1229	453	564	1098
Bosque de encino-pino	3473	3144	3291	3541
<b>Total</b>	<b>9496</b>	<b>9254</b>	<b>9425</b>	<b>9036</b>

Al realizar el ANOVA de la deforestación entre comunidades forestal por año se encontró que estadísticamente no existe diferencia significativa con un valor de  $P = 1.000$  (Cuadro 26).

**Cuadro 26.** Análisis de Varianza en deforestacion por comunidad forestal.

**ANOVA**

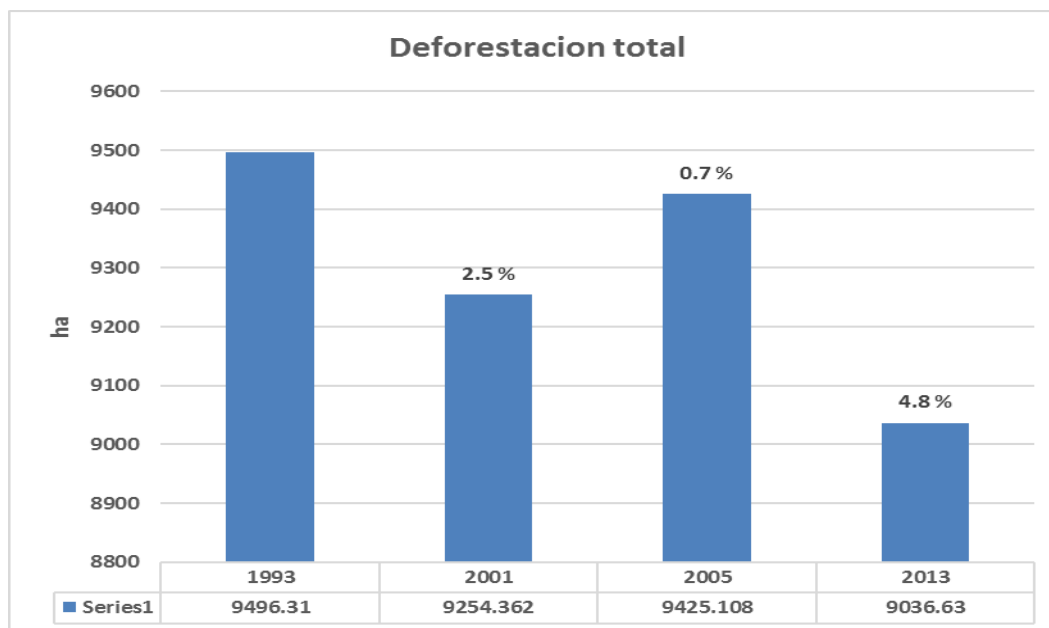
Deforestación por comunidad forestal

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	41865.903	3	13955.301	.003	1.000
Dentro de grupos	38448159.908	8	4806019.988		
Total	38490025.811	11			

**Comparación del total de superficie por año.**

Realizando una comparación del total de cobertura forestal se encontró que en los años de 1993 al 2001 existe una deforestación de 241 ha equivalente al 2.5 %, para los años del 2001 al 2005 disminuye 75 ha correspondiendo al 0.7 %, entre 1993 y 2013 y entre los años de 1993 y 2013 existe una deforestación de 388 ha que corresponde al 4.8 % (Figura 17).

Esta deforestación forma parte de la tasa de deforestación mundial México se encuentra entre los primeros países con mayor deforestación en el mundo, ya que en el periodo 1990-2010 se han perdido alrededor de 13 millones de hectáreas totales y 155 mil hectáreas de bosques y selvas por año, según datos del PNUMA y Chávez M. 2013.



**Figura 17.** Análisis de deforestación total por año.

#### 4.2.6 Existencias dasométrica en ejido Pabillo para cada año.

En 1993 se encontró que existía un área basal máxima de 531157 m<sup>2</sup> correspondiente a los bosques de encino-pino y un volumen máximo de 5187560 m<sup>3</sup>. El que produce menos es el bosque de pino con una área basal de 44209 m<sup>2</sup> y en volumen 2489879 m<sup>3</sup> (Cuadro 27).

**Cuadro 27.** Caracterización dasométrica para el año de 1993.

Comunidad forestal	Superficie (ha)	área basal ( m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Bosque de pino	4793	255826	2489879
Bosque de pino-encino	1229	44209	474300
Bosque de encino-pino	3473	531157	5187560
<b>Total</b>	<b>9496</b>	<b>831191</b>	<b>8151739</b>

En 2001 se encontró que el bosque de encino-pino es el de mayor área basal con 480840 m<sup>2</sup> y en volumen de 4696138 m<sup>3</sup>, el que obtiene menor valores dasométricas es el bosque de pino-encino con un ara basal de 16295 m<sup>2</sup> y de volumen 174823 m<sup>3</sup> (Cuadro 28).

**Cuadro 28.** Caracterización dasométrica para el año de 2001.

Comunidad forestal	Superficie (ha)	área basal ( m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Bosque de pino	5656	301888	2938193
Bosque de pino-encino	453	16295	174823
Bosque de encino-pino	3144	480840	4696138
<b>Total</b>	<b>9253</b>	<b>799023</b>	<b>7809154</b>

Para el 2005 se encontró que el bosque de encino-pino es el de mayor área basal con 503322 m<sup>2</sup> y en volumen con 5187560 m<sup>3</sup>, el de menor área basal fue el bosque de pino-encino con 20288 m<sup>2</sup> y 474300 m<sup>3</sup> de volumen (Cuadro 29).

**Cuadro 29.** Caracterización dasométrica para el año de 2005.

Comunidad forestal	Superficie (ha)	área basal ( m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Bosque de pino	5568	297191	2489879
Bosque de pino-encino	564	20288	474300
Bosque de encino-pino	3291	503322	5187560
<b>Total</b>	<b>9423</b>	<b>820801</b>	<b>8151739</b>

En 2013 se encontró que el bosque de encino-pino es el que presento el área basal mayor de 541556 m<sup>2</sup> y volumen de 5289130 m<sup>3</sup>, el bosque de pino-encino es el de menor contenido de área basal con 39497 m<sup>2</sup> y un volumen de 423744 m<sup>3</sup> (Cuadro 30).

**Cuadro 30.** Caracterización dasométrica para el año de 2013.

Comunidad forestal	Superficie (ha)	área basal ( m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Bosque de pino	4396	234636	2283645
Bosque de pino-encino	1098	39497	423744
Bosque de encino-pino	3541	541556	5289130
<b>Total</b>	<b>9035</b>	<b>815689</b>	<b>7996519</b>

Esto indica que aunque los bosques de pino son los que ocupan más superficie, el de mejor productividad en madera son los bosque de encino-pino, se debe a que al aprovechar y extraer de manera dirigida la madera a las comunidades forestales de bosque de pino y pino-encino provoca espacios en el dosel que beneficia a que prosperen y se desarrollen los bosques de encino-pino a lo largo del ejido.

## 5. CONCLUSIONES

El área de estudio se encuentra compuesta por tres comunidades forestales de bosque de pino, pino-encino y encino-pino. El área con potencial maderable corresponde al 61 % y sin potencial maderable se encuentra en un 39 %.

De los 11 parajes estudiados los de mayor importancia son “Cañada del Salto”, “Cañada Villa seca”, “Morritos la Lagunita”, “Cañada del Llorón” y “Cañada ojo de Agua” ya que tienen el mayor número de individuos y especies que ayudan a incrementar el índice de abundancia, dominancia y frecuencia.

Seis de las comunidades forestales están compuestas de bosque mixtos de encino-pino, de estas comunidades la especie más sobresaliente e importante es *Quercus mexicana* y *Pinus pseudostrobus* por ser las más abundantes, dominantes y frecuentes. Otra de las especies importantes es *Pinus cembroides* por que abarca una gran parte del área de estudio conformando cuatro comunidades de bosque puro de pino. Existe un solo paraje que forma la comunidad forestal mixta de pino-encino siendo *Pseudotsuga menziesii* y *Quercus polymorpha* las especies más importantes.

En relación diámetro normal y altura total por especie se encontró que existe una correlación positiva de las cuales *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote* presentaron las más altas en  $r^2 = 0.71$  y  $0.84$ , las especies que tuvieron una correlación muy baja se debió a que los valores se alejan considerablemente de la línea de tendencia.

En producción forestal los parajes forestales más factibles son “Cañada del Salto” y “Cañada Ojo de agua”, conformados por un ecosistema forestal de pino - encino y encino-pino, donde predominan las especies forestales de *Quercus mexicana*, *Pinus pseudostrobus*, *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus cembroides*, siendo las mejores en densidad y producción de volumen.



Con base a las metodologías aplicadas y a los resultados obtenidos se comprueba que estadística y visualmente existe diferencia en composición florística en los ecosistemas forestales y los parajes.

En cuanto a la diversidad, el paraje más diverso es “Cañada del Salto”, seguida de “Cañada del Llorón” y “Cañada Villa seca”, teniendo el mayor índice de Shannon y por ser el que tiene más diversidad de especies y un mayor número de individuos, los menos diversos pero más similares son los conocidos como “Cerró las Mesas”, “Los Terreros” y “San Felipe” por estar compuesta masas forestales de una sola especie *Pinus cembroides*. Con base a las metodologías aplicadas y a los resultados obtenidos se comprueba que visualmente existen diferencias en diversidad biológica, pero estadística estas esas diferencias no son significativas para cada ecosistema forestal y los parajes.

Con el NDVI se encontró que si existe degradación del bosque a través del tiempo desde 1993 hasta el 2013, esto se debe a que disminuye las superficies más sana hasta en un 16 %. Al realizar el análisis con la metodología utilizada y los resultados obtenidos estos comprueban que existe degradación del bosque a través del tiempo en el área bajo manejo forestal.

Existe una deforestación del 4.8 % del total de las superficies forestales las imágenes demostraron que las zonas más degradadas son la que se encuentran muy cercanas a las zonas agrícolas y zonas de aprovechamiento forestal, la disminución es causada al cambio de uso de suelo a agricultura, extracción para aprovechamiento de madera en zonas de bosque de pino-encino y lugares donde se realizaron saneamientos para el control de plagas y enfermedades. Con base a la metodología aplicada y a los resultados se comprueba que existe una disminución de las superficies forestales provocando una deforestación pero esta no es estadísticamente significativa.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Alanís Rodríguez E. (2010). Regeneración natural y restauración ecológica pos incendio de un bosque mixto en el parque ecológico chipinque, México. Tesis. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N. L.
- Ancira Sánchez L. (2005). Utilización de Imágenes de Satélite de Alta Resolución como Alternativa al Uso de Ortofotos en el Manejo Forestal, México. Tesis. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N. L.
- Antonio-Némiga, X., Treviño-Garza, E.J. y Jurado-Ybarra, E. (2008). Fragmentación forestal en la subcuenca del río Pílon: diagnóstico y prioridades. *Madera y Bosque*. 14(3):5-23.
- Avery, T. E. & Berlin, G. L. (1992). *Fundamentals of remote sensing and airphoto interpretation*. 5th Edition. New York: Maxwell MacMillan International. Pp. 263-265
- Bakker, Wim H. Lucas L. F. Jansen, et al. (2001). *Principles of Remote Sensing*. ITC. The Netherlands
- Bown H., (1992). Biomasa en bosques de Lenga en la provincia de Última Esperanza, XII Región. Memoria de Título. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 63 p.
- Calderón O., Jiménez J., Treviño E., y Blas M. (1997). Evaluación de diversos tamaños de sitios de muestreo en inventarios forestales. En *madera y bosques*, primavera, año/vol.3 número 001. Instituto de ecología A.C. Xalapa, México. Pp. 71-79.
- Carrillo E. 2008. Casos prácticos para muestreo e inventarios forestales. División de ciencias forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 172 p.
- Champo O., Valderrama L. y España M. (2012). Cobertura forestal en la reserva de la biósfera mariposa monarca, Michoacán, México. *Revista Chapingo. Ciencias forestales y del ambiente*. Pp.143-157.
- Chávez M. (2013). México entre los países con mayor deforestación. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chuvieco E., (2002). *Teledetección ambiental*. Editorial, S.A. Barcelona. (España). 685 pp.

- Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de Teledetección espacial. 3ª Edición RIALP. SA. Madrid (España) Pp. 21-43
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2012). Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Gerencia de Inventario Forestal y Geomática. Jalisco, México. 22 p.
- Dixon R.K., Brown S., Houghton R.A., Solomon A.M., Trexier M.C. y Wisniewski J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science, 263 (14), 185-190.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2001). Situación de los bosques del mundo. Departamento de Montes de la FAO. Roma, Italia.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2004). Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020. Informe Nacional México.
- Fernández Palacios A. (2005). Obtención de series multitemporales de imágenes de NDVI para el seguimiento de los cambios en la vegetación. Aplicación a las actualizaciones cartográficas. XI congreso nacional de teledetección. Puerto de la cruz. Tenerife. Pp 467-493.
- FRA (Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales). 2010. Informe Nacional México. Departamento Forestal de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Roma, Italia.
- Gasparri, I. (2004). Deforestación en la zona de transición entre Parque Chaqueño y selva Tucumano Bolivia en la provincia de Salta. Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal, Dirección de bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Bolivia.
- Gebhard J., (2003). Clasificación digital de imágenes Landsat y su aplicación en la identificación de especies forestales universidad nacional de la plata, facultad de ciencias naturales Pp.1-8.
- González, A. (1992). Los Bosques de las tierras Mexicanas: La gran tendencia, el cotidiano. Núm., 48, México. Pp 3-6.
- Hairiah K., Sitompul S.M., Van Noodwick M. y Palm C., (2001). Methods for sampling carbon stocks above and below ground. International Centre for Research in Agroforestry. Southeast Asian Regional Research Programme. Bogor, Indonesia. Pp 1-31.
- Hann, D. W. y B.B. Bare. 1982. Manejo de bosques incoetáneos Trad. P. Rivero B. Universidad Autónoma Chapingo, Depto. Bosques. Bol Tec., 4. 30 p.

- Hiratsuka M., Toma T., Mindawati N., Heriansyah I. y Morikawa Y. /2005). Biomass of a man-made forest of timber tree species in the humid tropics of West Java, Indonesia. *Forest Resources*, 10, 487–491.
- Houghton R.A. (2005). Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance *Global Change Biology*, 11, 945–958.
- ITC (1997), International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Surveying and Mapping in Forestry Module Introduction. Pp. 1-7.
- Jamalabad, M. S., and A. A. Abkar. (2004). Forest canopy density monitoring using satellite data. *In: Proceedings of the XXth International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Congress, Commission 7, Istanbul, Turkey. (Versión Digital).*
- Keuchel J., Naumann S., Hailer M. and Siegmund A., (2003). Automatic land cover analysis for Tenefife by classification using remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 86, 230-542.
- Kyrby K.R. y Potvin C. 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a smallscale carbon sink project. *Forest Ecology and Management* 246, 208–221.
- Lamprecht, H. (1990). Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas – posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido - . Trad. A Carrillo. Eschborn, República Federal de Alemania, GTZ. 335 p.
- Lufafa A., Diedhiou I., Samba S.A.N., Sene M., Khouma M., Kizito F., Dick R.P., Dossa E. y Noller J.S. 2008. *Carbon stocks and patterns in native shrub communities of senegals peanut basin. Geoderma*, 146,75-82.
- Macedo A., Pajares G. y Santos M., (2010). Clasificación no supervisada con imagen a color de cobertura terrestre colegio de posgraduados montecillos estado de México. *Agrociencia* Pp. 711-722.
- Makela, H., and A. Pekkarinen. (2004). Estimation of forest stand volumes by Landsat TM imagery and stand- level field-inventory data. *For. Ecol. Manag.* 196: 245-255.
- Masera, O., M.J. Ordóñez y R. Dirzo. (1992). Carbon emissions from deforestation in Mexico: current situation and long-term scenarios. W. Makundi y J. Sathaye (ed.) *Carbon emission and sequestration in forests: case studies from seven*

- developing countries: Summary. Report Ibl-32665. Lawrence Berkeley laboratory, University of California. Berkeley, California.
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR).
- McKeown A. y Gardner G. (2009). Climate Change Reference Guide. Worldwatch Institute. 17 p.
- Paz M. (1995). De bosques y gente. Aspectos sociales de la deforestación en América Latina. Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF.
- Petit, J. 2008. Clasificación, Estructura y Composición de los Bosques. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes, Venezuela.
- Perez E., y García P. (2013). Aplicación de teledetección en degradación de suelos. Departamento de análisis geográfico regional y geografía física de la universidad compútense de Madrid. En Boletín de la asociación de geógrafos españoles. Madrid, España. Pp. 285-308.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590.
- PNUMA, (2007). Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. GEO 4, Medio ambiente para el desarrollo. Ed, Phoenix Design Aid, Dinamarca.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F. y Real, p. 1997. Manual Forestal IICA-BMZ/GTZ. Serie investigación. Y Educación en desarrollo sostenible. San José, Costa Rica. 561p.
- Reuter F. 2009. Plataformas orbitales y sensores. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales. Santiago del Estero, República Argentina Pp.20-31.
- Reyes Martínez R. 2010. Estructura espacial y relaciones entre características del suelo y variables Dasométrica en Ecosistemas Forestales del Sur de Nuevo León, UANL, Linares, N. L.
- Ríos N., Acosta C.V., Benítez, G., Pece M, 2000. Comparación entre métodos de muestreo. Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques. (INSIMA).Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. República Argentina.

- Shannon, C., 1948. "The mathematical theory of communication". En: *The mathematical theory of communication*. Shannon C.E. y Weaver W. (Ed). Univ. of Illinois Press Urbana. 29-125 pp.
- Segura M. y Kaninnen M. (2002). Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. (202-212) In: Orozco L., Brumér C. Eds. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Serie Técnica, Manual Técnico No. 50. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 264 p.
- Soria, J., C. Ortiz-Solorio, F. Gutiérrez y V. Volke. (1998). Sensores Remotos. Principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales. Experiencias en México. Publicación especial 7. CONACYT. Colegio de Posgraduado. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo, A.C.
- SRA (Secretaria de la Reforma Agraria). (2011). Cuaderno de Alternativas de Desarrollo y Retos del Núcleo Agrario "ejido Pablillo" Mpio. De Galeana Nuevo León México. Pp. 1-35.
- Treitz, P. and Rogan, J. (2004). Remote sensing for mapping and monitoring land cover and land use change: an introduction. *Progress in Planning*. 61:269-279.
- Treviño Garza E. J. (2001). Estratificación de la información en el procesamiento digital de imágenes de satélite aplicado a la cartografía de los bosques *Pinus cembroides*. Investigaciones Geográficas, Boletín núm. 44. Instituto de Geografía, UNAM, México. Pp. 54-63.
- Valdez R., Gonzales J. Y De los Santos M. (2006). Estimación de cobertura arbórea mediante imágenes satelitales multiespectrales de alta resolución. Colegio de posgraduados. Montecillo estado de México. Agrociencia Pp.383-394.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., & Umaña, A. M. (2006). Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad: 185-226 (en) Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad.